

**ESTUDO DE PROCEDIMENTOS DE
MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE EQUIPAMENTOS
ELETROMÉDICOS**

MARCOS VINÍCIUS LUCATELLI

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do grau de Mestre em
Engenharia.

FLORIANÓPOLIS

Estado de Santa Catarina

Fevereiro - 1998

ESTUDO DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS

MARCOS VINÍCIUS LUCATELLI

Engenheiro Eletricista

Orientador: Dr. RENATO GARCIA OJEDA

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do grau de Mestre em
Engenharia.

FLORIANÓPOLIS

Estado de Santa Catarina

Fevereiro - 1998

MARCOS VINÍCIUS LUCATELLI

**ESTUDO DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO
PREVENTIVA DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS**

**Essa dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
Mestre, especialidade em Engenharia Elétrica, e aprovada em sua forma
final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**




**Prof. Renato Garcia Ojeda, Dr.
Orientador**



**Prof. Adroaldo Raizer, Dr. INPG
Coordenador da Pós-graduação Eng. Elétrica**

Banca Examinadora:



Prof. Renato Garcia Ojeda, Dr. (presidente)



Prof. Fernando Mendes de Azevedo, Dr.



Prof. Jefferson L. B. Marques, PhD



Carlos G. Esperança, M.Eng.

*Viver bem a vida significa escrevê-la de tal forma que
não se tenha vergonha de reler o texto.*

Maria Emilse Lucatelli

À minha família,
em especial a meus pais, Marcos e
Maria Emilse, e a meus irmãos,
Thiago e Verônica, pelo apoio
constante.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais esta conquista.

À minha amiga, conselheira, revisora e progenitora, minha mãe, por ser minha mãe.

À minha namorada Sandra, pela compreensão e apoio.

Ao professor Renato Garcia Ojeda, pela orientação e amizade.

A todos meus amigos e colegas, em especial, Ana Cláudia Rubi Castro, Walter Gaston Brandstetter Jr., Ciro José Egoavil Montero, Claudio Augusto da Cunha Guimarães Jr., Wayne Brod Beskow, Joel de Campos Maciel e Erlon de Rocco.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS.....	XI
RESUMO.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO GERAL	4
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.2.1 <i>ESTRUTURA DO TRABALHO</i>	5
1.3 METODOLOGIA	6
1.4 JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA.....	7
1.5 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO	10
2. CONCEITOS DE MANUTENÇÃO.....	15
2.1 MANUTENÇÃO	15
2.1.1 <i>MANUTENÇÃO CORRETIVA</i>	18
2.1.2 <i>MANUTENÇÃO PREVENTIVA</i>	19
2.1.3 <i>MANUTENÇÃO PREDITIVA</i>	20
2.2 ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	26
2.2.1 <i>MANUTENÇÃO DESCENTRALIZADA</i>	28
2.2.2 <i>MANUTENÇÃO CENTRALIZADA</i>	30
2.2.3 <i>MANUTENÇÃO MISTA</i>	33
2.2.4 <i>MANUTENÇÃO CONTRATADA</i>	35
2.3 CUSTOS DE MANUTENÇÃO.....	39
2.3.1 <i>CLASSIFICAÇÃO DOS CUSTOS</i>	42
2.3.2 <i>ELEMENTOS DO CUSTO</i>	44

<i>2.3.3 CONTROLE DE CUSTOS</i>	45
<i>2.4 CONCEITOS APLICADOS À MANUTENÇÃO</i>	46
<i>2.4.1 CONFIABILIDADE</i>	46
2.4.1.1 Confiabilidade Inerente	48
2.4.1.2 Confiabilidade Atingível	48
<i>2.4.2 MANUTENABILIDADE</i>	49
<i>2.4.3 DISPONIBILIDADE</i>	50
<i>2.4.4 MÉTODO DA ÁRVORE DE FALHAS</i>	52
<i>2.4.5 APROXIMAÇÃO LÓGICA PARA A LOCALIZAÇÃO DE FALHAS</i>	53
3. PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	56
3.1 INTRODUÇÃO	56
3.2 CADASTRAMENTO	57
3.3 PRIORIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	60
<i>3.3.1 SISTEMAS DE PRIORIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS PARA MP</i>	62
3.3.1.1 Método de Hertz	63
3.3.1.2 Método de Anderson	65
3.3.1.3 Método de Bronzino/Moussavi	67
3.3.1.4 Sistema de Manutenção Orientado ao Risco - Romsys	68
3.3.1.5 Método de Sánchez	70
3.3.1.6 Método de Martins	71
<i>3.3.2 ITENS OBRIGATÓRIOS</i>	72
3.4 ESTOQUE DE PEÇAS SOBRESSALENTE	73
3.5 MANUAL DE PROCEDIMENTOS PARA A MP	74
3.6 INSPEÇÕES PREVENTIVAS	77
<i>3.6.1 INSPEÇÃO VISUAL</i>	77
<i>3.6.2 LIMPEZA</i>	78
<i>3.6.3 TESTE DE FUNCIONALIDADE</i>	79
<i>3.6.4 TESTE DE SEGURANÇA</i>	80

3.6.5 CALIBRAÇÃO/AJUSTE.....	81
3.6.6 NÍVEL DE INSPEÇÃO	82
3.6.7 FORMA DE ATUAÇÃO.....	83
3.7 FREQUÊNCIA DE INSPEÇÃO.....	84
3.8 TEMPO-PADRÃO	87
3.9 DIMENSIONAMENTO DA EQUIPE TÉCNICA	88
3.10 MANUTENÇÃO DE ROTINA.....	92
3.11 PLANEJAMENTO/EXECUÇÃO	93
3.12 REGISTRO DA MP	94
4. CARACTERIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS EM EEM.....	97
4.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	97
4.2 PRIORIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	97
4.3 VENTILADOR PULMONAR.....	99
4.3.1 MATERIAIS NECESSÁRIOS	101
4.3.2 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	102
4.3.3 MANUTENÇÃO DE ROTINA.....	103
4.4 DESFIBRILADOR/CARDIOVERSOR	104
4.4.1 MATERIAIS NECESSÁRIOS	104
4.4.2 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	104
4.4.3 MANUTENÇÃO DE ROTINA.....	106
4.5 BISTURI ELÉTRICO.....	107
4.5.1 MATERIAIS NECESSÁRIOS	107
4.5.2 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	108
4.5.3 MANUTENÇÃO DE ROTINA.....	109
4.6 ELETROCARDÍOGRAFO.....	110
4.6.1 MATERIAIS NECESSÁRIOS	110
4.6.2 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	110
4.6.3 MANUTENÇÃO DE ROTINA.....	112

5. CONCLUSÃO	114
5.1 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	119
ANEXOS	120
ANEXO A	121
ANEXO B	125
ANEXO C	128
ANEXO D	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
GLOSSÁRIO	140

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1: EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	13
FIGURA 2-1: FUNÇÕES BÁSICAS DO DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO.....	18
FIGURA 2-2: CURVA DA BANHEIRA.....	24
FIGURA 2-3: TIPOS DE MANUTENÇÃO.	26
FIGURA 2-4: FLUXOGRAMA DE UM DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO DESCENTRALIZADO.	30
FIGURA 2-5: DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO CENTRALIZADO.	32
FIGURA 2-6: ORGANOGRAMA DE UM DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO MISTO.....	34
FIGURA 2-7: DIAGRAMA DE BLOCOS DETALHADO DE UMA ESTRUTURA DE ENGENHARIA CLÍNICA.	35
FIGURA 2-8: CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	41
FIGURA 2-9: ESTADOS DE UM ITEM.....	51
FIGURA 2-10: FLUXOGRAMA GENÉRICO DE BUSCA DE DEFEITO.	55
FIGURA 3-1: EXEMPLO DE FORMULÁRIO DE CADASTRAMENTO/LEVANTAMENTO.....	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 3-1: VALORES ATRIBUÍDOS DE PROBABILIDADES RELATIVAS.	64
TABELA 3-2: CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA MP.	87
TABELA 3-3: DIMENSIONAMENTO DA EQUIPE TÉCNICA DE ACORDO COM O N° DE LEITOS.	89
TABELA 3-4: INFORMAÇÕES ESSENCIAIS PARA O REGISTRO DE EQUIPAMENTOS.	96
TABELA 4-1: LISTAGEM DOS EEM QUE RECEBEM E QUE DEVERIAM RECEBER MP.	99
TABELA 4-2: CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO DE EEM APLICADOS AO VENTILADOR PULMONAR.	100
TABELA 4-3: DISCRIMINAÇÃO DOS VALORES ATRIBUÍDOS AOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.	101

Estudo de Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos

RESUMO

Inspeções e testes periódicos, visando à prevenção de reparos emergenciais nos equipamentos eletromédicos - EEM -, são atividades de grande relevância para a garantia da qualidade dos serviços de saúde, pois equipamentos fora do serviço implicam altos custos, tanto sociais como financeiros. Esses podem ser reduzidos em cerca de 50% pela correta aplicação de técnicas de manutenção preventiva - MP. O objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo sobre os métodos de MP, analisando os fatores que permitem uma eficiente programação de procedimentos aplicáveis a EEM, os preceitos necessários à implantação deste programa em um ambiente hospitalar, bem como caracterizar o emprego da MP na manutenção dos EEM do Hospital Universitário - HU -, da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Neste trabalho, apresenta-se a sistematização dos diversos fatores exigidos na implantação de um programa de MP e a demonstração desses aspectos para alguns EEM.

Palavras-chave: *procedimentos de manutenção preventiva, equipamentos eletromédicos, manutenção, priorização de equipamentos, contratos de manutenção.*

Study of Procedures of Preventive Maintenance of Equipments Electromedical

ABSTRACT

Inspections and periodic tests, aiming to prevent repairs in electromedical equipment (EME), are activities of great relevance to guarantee quality health services because equipment out of service imply in high social and financial costs. These costs can be minimized greatly, in about 50%, by correct application of preventive maintenance (MP) techniques. The main objective of this work was to study methods of MP, analyzing the factors that allow an efficient programming of applicable procedures to EME, the necessary precepts to the implantation of such a program in a hospital environment, as well as to characterize the use of MP for the maintenance of EME at the University Hospital (HU), of the Federal University of Santa Catarina - UFSC. This work, presents the sistematization of several factors that are necessary to the implantation of an MP program and the application of these aspects for some EME.

Word-key: *procedures for preventive maintenance, electromedical equipment, maintenance, priority of equipment, maintenance contracts*

1. INTRODUÇÃO

A sabedoria popular, em seu empirismo e experiência, desde sempre apreendeu a essência das coisas, dos atos e comportamentos humanos, formando juízos que se traduzem em ditos difundidos e seguidos através dos tempos. Um deles - e que se aplica a todas as áreas humanas - é o que preceitua que "prevenir é melhor que remediar".

Mais atual do que nunca, apesar dos crescentes avanços tecnológicos, essa máxima popular consiste numa verdade incontestável, uma vez que toda ação preventiva, que evita um mal previsível, poupa o homem de dor, transtornos, gastos e desperdícios de tempo e trabalho. E é este o princípio básico do serviço de manutenção preventiva em relação a equipamentos em uso nas indústrias e, no caso deste trabalho, nas instituições de saúde. Prevenir, aqui, é ter visão de futuro, é antecipar-se aos contratempos passíveis de percepção, é garantia de segurança e funcionalidade do equipamento.

A tecnologia empregada em máquinas, equipamentos, novos materiais e processos, utilizados em todas as áreas, tem passado, especialmente nos últimos vinte anos, por constantes aperfeiçoamentos. Esses avanços foram os responsáveis pela transformação do parque tecnológico das indústrias, que passou de simples, no início do século, a complicado, até o início da década de 1970, e a complexo a partir daí até os dias de hoje. A complexidade identificada ultimamente na tecnologia, nas diversas áreas de produção de bens, sejam eles produtos ou serviços, deve-se, sobretudo, ao

maciço emprego e à implantação contínua da informática na automação do maquinário, tendo como conseqüência direta a redução dos postos de trabalho e a reciclagem de mão-de-obra.

A área médica, assim como as demais, acompanhou essa tendência mundial da utilização de “tecnologias inteligentes”, o que levou a uma inevitável transformação, ou seja, a atuação do médico, anteriormente baseada quase que totalmente na sua experiência e intuição para o diagnóstico de doenças e tratamento de pacientes, passou a depender amplamente de variáveis e resultados fornecidos pela tecnologia. Com isso, a manutenção, indispensável na disponibilização dessa tecnologia, tratada anteriormente apenas como “um mal necessário”, principal “vilã” de sistemas de controle de custos dos setores administrativos de qualquer indústria, passou a ser um dos setores fundamentais ao bom andamento da produção em entidades de saúde e grande fonte de lucros da indústria em geral.

De outro modo, a utilização de tecnologias avançadas trouxe consigo a necessidade de aperfeiçoamento de instalações industriais, de treinamento dos operadores da produção e, sobretudo, de manutenção dessa tecnologia. Nesse sentido, a manutenção deu um passo importantíssimo rumo ao desenvolvimento de novas técnicas e procedimentos. E a manutenção preventiva, mais especificamente, tornou-se, nesse contexto, uma ferramenta indispensável para a obtenção de serviços eficientes, que garantam a funcionalidade e a segurança, aliadas à disponibilidade de máquinas e equipamentos.

Em qualquer país, seja desenvolvido ou em desenvolvimento, a maioria das falhas - 70% segundo Veneziano (Veneziano, 1997) - envolvendo

equipamentos de cuidado ao paciente utilizados em instituições de saúde poderiam ser evitadas, se o usuário/operador tivesse um entendimento claro sobre a sua correta forma de operação. Assim, a falta de conhecimento por parte dos operadores em relação ao projeto e ao funcionamento dos equipamentos aumenta o índice de erros cometidos e o risco de lesões ao paciente/operador (WHO, 1994).

É evidente que muitos dos equipamentos incorporados à rotina dos hospitais possuem alta sofisticação e complexidade, o que exige pessoal qualificado e habilitado, capaz de devolver-lhes - em caso de pane/defeito - as condições necessárias de operação sem comprometer a sua segurança e eficiência. Entretanto, em muitos casos, as falhas poderiam ser evitadas se determinadas regras básicas de prevenção fossem seguidas. Infelizmente, raros são os trabalhos transformados em livros-textos e, surpreendentemente, pouca informação escrita sobre manutenção de equipamentos eletromédicos - EEM - é disponibilizada (WHO, 1994). Nesse sentido, sofrem sobretudo as entidades de saúde de países em desenvolvimento pelo fato de muitos equipamentos advirem de outros países, o que faz com que, além da diferença de idiomas, a informação adequada sobre a manutenção, operação e reparo seja dificultada.

É importante e fundamental, inicialmente, salientar as diferenças conceituais existentes entre *manutenção* e *reparo*, muitas vezes confundidos. A denominação *manutenção*, amplamente utilizada ao longo deste trabalho, não se restringe à atividade de reparo dos equipamentos; ela incorpora, em sua definição, diferentes aspectos, níveis de complexidade e abordagens (Mirshawka, 1989). Por sua vez, *reparo* detém um significado restrito à

atividade de realizar a tarefa, podendo significar tanto restauração como substituição de um item. Nesse sentido, o correto entendimento das ações básicas da manutenção - manter e restabelecer - elimina possíveis confusões. O termo *manter* contém a noção de prevenção sobre um sistema em funcionamento; ao passo que *restabelecer* difunde a noção de correção em consequência da perda da função.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal da presente pesquisa foi realizar um estudo sobre os métodos de manutenção preventiva, analisando os fatores que permitem uma eficiente programação de procedimentos aplicáveis a equipamentos eletromédicos. Como cada área tecnológica apresenta características especiais, este estudo pretende adaptar os métodos de manutenção preventiva à área de engenharia clínica, considerando a realidade do país em relação à tecnologia médica. Toda essa sistematização visa fornecer ao Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica - GPEB - , da Universidade Federal de Santa Catarina, o conhecimento necessário para a aplicação em seus programas de Engenharia Clínica.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho pretende analisar os fatores que influenciam a programação da manutenção preventiva de equipamentos eletromédicos, os

preceitos necessários à implantação deste programa em um ambiente hospitalar ou outra entidade de saúde, assim como a caracterização desses procedimentos, segundo critérios de priorização empregados e a disponibilização de informações técnicas necessárias.

Nesse sentido, a partir da caracterização do processo de manutenção empregado pelo Hospital Universitário - HU -, pretende-se avaliar a situação existente e sugerir propostas de emprego da metodologia estudada.

1.2.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em mais três capítulos, além deste introdutório e do capítulo de conclusão.

O capítulo 2 apresenta conceitos básicos que acompanham a implantação de qualquer estrutura de manutenção no que diz respeito à sua organização, classificação, como também elementos referentes aos custos incidentes nas rotinas de manutenção.

No capítulo 3, descrevem-se os procedimentos que constituem a implantação de um programa de manutenção preventiva genérico, ou seja, aplicável a quaisquer equipamentos eletromédicos. Esses diversos aspectos são partes fundamentais na otimização dos recursos disponíveis pela entidade e a garantia de funcionalidade e segurança dos equipamentos envolvidos.

Por fim, o capítulo 4 apresenta a sistematização dos procedimentos de manutenção preventiva aplicados a alguns equipamentos eletromédicos, conforme a disposição destes equipamentos e a importância a

eles atribuída pelo Hospital Universitário, de Florianópolis - SC, durante o período de gerenciamento do Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica - GPEB.

1.3 METODOLOGIA

Para a concretização dos objetivos traçados para este trabalho, foi necessário um estudo das realidades encontradas tanto na indústria, de modo geral, como na área de instituições de saúde e contextos, sejam locais ou internacionais. Nesse sentido, a caracterização de uma estrutura de manutenção, a sua organização, os elementos diretamente ligados a ela, bem como a determinação dos aspectos relativos à programação, à seleção e execução dos procedimentos de manutenção preventiva, exigiram o estudo de ampla bibliografia, tais como: manuais de fabricante e de procedimentos, artigos técnicos, livros-textos e outras fontes de literaturas relacionadas.

A realização do levantamento dos equipamentos eletromédicos existentes no Hospital Universitário, sob responsabilidade do Núcleo de Engenharia Clínica - NEC -, quando este ainda era gerido pelo GPEB, permitiu a caracterização da situação da manutenção preventiva realizada nesses equipamentos, como também evidenciou a necessidade da aplicação de uma metodologia racional e eficiente. A partir disso, pôde-se propor a realização de uma correta priorização dos equipamentos para a manutenção preventiva - MP, na qual se utilizou o método proposto por Sánchez (Barrios, 1997). A avaliação dos critérios adotados por ele foi realizada através de entrevistas

com os técnicos responsáveis por cada área dos EEM; posteriormente, realizou-se a aplicação de procedimentos de MP a determinados equipamentos pertencentes à lista daqueles avaliados. A realização de tais atividades originou uma publicação, apresentada no XII Congresso Chileno de Ingeniería Eléctrica, em Temuco, Chile, em novembro de 1997.

Fez-se necessário, também, o conhecimento de outras realidades; nesse sentido, as visitas ao Hospital Santa Casa de Porto Alegre, ao Hospital São Vicente de Paulo, em Passo Fundo - RS, e ao Hospital Governador Celso Ramos, em Florianópolis - SC, bem como a participação no XII Congresso Brasileiro de Manutenção, realizado em São Paulo em outubro de 1997, completaram as fontes de informações utilizadas na elaboração deste trabalho.

1.4 JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA

O objetivo da manutenção preventiva é realizar inspeções e testes periódicos para prevenir reparações de emergência, de alto custo e de prolongado tempo de conserto, garantindo, desse modo, a segurança e a funcionalidade dos EEM. Este objetivo é de fundamental importância na área da saúde, na qual o tempo que um equipamento fica parado pode refletir em altos custos, tanto sociais como financeiros. Somado a isso, há a escassez de recursos na área, seja para manutenção seja para aquisição dos EEM, o que torna de fundamental importância a implementação de adequados programas de manutenção preventiva, que permitam conservá-los em condições de

funcionamento e prolongar a sua vida útil. Estatisticamente, uma manutenção programada de EEM pode aumentar a produtividade de um serviço em torno de 25%, diminuindo os custos de manutenção em até 30% e adicionando, aproximadamente, 50% de vida útil ao equipamento (Webster, 1979).

Um procedimento adequado e programado de manutenção preventiva pode auxiliar a melhorar tanto a qualidade como a segurança dos serviços de saúde, cada vez mais dependentes de tecnologia médica. Nesse sentido, a adequada indicação de um tratamento depende diretamente da avaliação diagnóstica efetuada, a qual, em grande parte, depende de EEM. A sistematização das informações feita neste estudo deve ser de grande valia para o GPEB, o HU e o estado de Santa Catarina, onde as propostas serão aplicadas visando à melhoria dos serviços com EEM, refletindo, conseqüentemente, na qualidade dos serviços de saúde prestados em que seja utilizada tal tecnologia médica.

Todo equipamento eletromédico utilizado na área da saúde deve ser inspecionado periodicamente pelo setor de engenharia clínica, em inspeções que devem ser efetuadas de acordo com o especificado pelo fabricante - antes do uso inicial, após reparos ou modificações e, no mínimo, semestral ou anualmente (Ministério da Saúde, 1995; Bronzino, 1992). Os testes realizados deverão obedecer aos requisitos, recomendações e normas existentes que tratam da regulamentação da manutenção de EEM.

Um programa de manutenção preventiva, antes de tudo, deverá atender às metas determinadas pela diretoria para o hospital como um todo. Dentre as muitas metas que a manutenção preventiva pode conduzir, citam-se as seguintes:

- diminuição de chamadas de emergência;
- redução dos custos incidentes pela redução das paradas de emergência;
- aumento na qualidade dos serviços prestados em virtude da maior confiabilidade e eficiência dos equipamentos;
- aumento da produtividade do equipamento pela maior disponibilidade do equipamento;
- maior vida útil dos equipamentos;
- menos reparos repetitivos e também de grande escala;
- redução de acidentes na operação do equipamento, os quais causam diretamente aumento de custos, baixa da qualidade e baixa da vida útil dos equipamentos.

A manutenção preventiva prolonga a vida útil do equipamento por proporcionar a limpeza adequada, lubrificação e reparos de partes defeituosas antes que ocorra uma falha mais séria. Se os equipamentos fossem mantidos em boas condições operacionais, certamente não se deteriorariam tão rapidamente. Quando os programas de MP são eficientes, a segurança dos equipamentos aumenta, havendo, por consequência, também um aumento de confiança por parte dos seus usuários. Isso porque, além de o equipamento ficar menos tempo ocioso, esses, terão menos dificuldade para sua operação e certeza de que está devidamente funcional. O equipamento será, então, usado com mais frequência e confiança, de maneira que melhores resultados serão obtidos nos procedimentos médicos realizados.

Entre as muitas vantagens em conduzir um programa de MP ativo, talvez a maior seja a de assegurar que o equipamento esteja nas melhores condições possíveis e que seus parâmetros estejam corretamente ajustados. De acordo com a ciência da engenharia, deveria ser sempre preferível realizar uma manutenção preventiva, compatível com os recursos disponíveis, a uma estratégia corretiva. Essa sugestão é apoiada por um bom número de casos estudados, que demonstram os benefícios da manutenção preventiva, comprovando que há uma redução de 90% de suspensões da produção não planejadas (Tachibana, 1994).

1.5 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

Os processos de manutenção sofreram importantes transformações em seus métodos e práticas ao longo desses poucos anos de sua difusão e aplicação. Três marcos podem ser considerados como fundamentais no “batismo” dessas transformações, todos, como sempre, frutos da necessidade de racionalização e otimização imposta por períodos de crise (Arcuri Filho, 1996). São eles:

- o nascimento da manutenção como Manutenção Corretiva (1540);
- o advento da Manutenção Preventiva (1940);
- o surgimento da Manutenção Preditiva (1970).

Esses três marcos delimitam também a evolução da manutenção em três gerações distintas (Blanco, 1996), conforme são explicadas em seqüência.

A primeira geração se estende desde o início da era industrial, sendo marcada pela construção das primeiras máquinas têxteis, entre 1540 e 1640, quando o homem projetava as máquinas e treinava outros para operá-las, ajustá-las e consertá-las (Ariza, 1989). Nesta fase, o conserto só era efetuado face à emergência, ou seja, a máquina produzia até o momento em que uma de suas peças quebrasse. Mais tarde, passou-se a acompanhar os períodos de quebras das peças, revisando-as quando um determinado tempo era completado, antes que houvesse a sua quebra total, o que levaria à danificação também de outras peças. Esse procedimento era o princípio da prevenção de avarias, chamado *inspeção*, que visava ao acompanhamento do tempo de vida útil das peças, efetuado, a princípio, visualmente e com a máquina parada.

Essa geração perdurou até o final da Segunda Guerra Mundial, quando, ainda, as indústrias dispunham de um reduzido número de máquinas, que eram simples e de fácil conserto, além de o volume de produção não ser de essencial importância, permitindo, assim, que o tempo de conserto daquelas fosse prolongado.

O período pós-guerra trouxe consigo a segunda geração da manutenção, pois a indústria passou a incorporar, nessa época, máquinas mais complicadas e com maior volume de produção. O conceito de manutenção preventiva era, então, aplicado a inspeções realizadas sistematicamente, com a máquina operando e, quando isso não fosse

possível, com a máquina parada (Ariza, 1989). Com isso, o ferramental foi melhorado, resultando em maior qualidade, rapidez e eficiência nas intervenções. Outras formas de aperfeiçoamento da participação e minimização dos custos passaram a ser a recuperação de equipamentos e a sua seleção; a priorização dos atendimentos e a qualificação dos equipamentos empregados nos programas de manutenção preventiva.

Por fim, a terceira geração culminou com o surgimento de técnicas de manutenção preditiva em meados da década de 1970. A partir daí, aos equipamentos mais importantes do parque tecnológico começaram a ser aplicadas técnicas de predição de desgastes e de eficiência dos componentes. A manutenção preditiva é a que trata de pontos estratégicos do equipamento, através da colocação de sensores que quantificam determinadas variáveis pela monitoração contínua, a qual indica o estado real do equipamento, bem como a vida útil das peças avaliadas. A Figura 1-1 ilustra a evolução da manutenção durante os últimos séculos.

A manutenção preventiva, até 1979, só era praticada em indústrias. Em hospitais, era realizada apenas em equipamentos como caldeiras e ar-condicionado, passando a ser aplicada a equipamentos orientados ao paciente somente a partir daquele ano (Webster, 1979).

No Brasil, além dos fatores segurança e desempenho dos equipamentos, a manutenção preventiva incorporou o fator custo de manutenção, uma preocupação que se antecipou às norte-americanas e canadenses. As diferenças entre a engenharia clínica do Brasil e a dos EUA devem-se também a fatores culturais (Ramírez, 1996). A preocupação com a segurança elétrica de equipamentos médicos resultou nos EUA, na década de

Hospitals - JCAHO -, que certificam a qualidade e riscos que um equipamento pode apresentar para o paciente/usuário. Na atualidade, é dada ênfase ao gerenciamento e a estratégias de suporte tecnológico, visando otimizar a relação custo/benefício (Bronzino, 1992).

No Brasil, o Ministério da Saúde começou a ser pressionado pela sociedade para elaborar critérios que garantissem maior segurança ao paciente. Essa preocupação com o desempenho e a segurança somente começou a ser considerada no início da década de 1990 (Ramírez, 1996). A partir disso, o Ministério da Saúde instituiu e incentivou a criação de organismos de certificação e conformidade - COM -, a aplicação de normas técnicas brasileiras a EEM, bem como de regulamentos técnicos e metrológicos aplicáveis a esses equipamentos, além da criação, em 1991, do Programa de Conformidade em Equipamentos para a Saúde - Peces. Essas foram algumas das medidas tomadas no país nesse sentido (Beskow, 1997).

2. CONCEITOS DE MANUTENÇÃO

2.1 MANUTENÇÃO

Toda e qualquer empresa que fabrique algum produto, ou preste determinado tipo de serviço, e que utilize máquinas, equipamentos ou dispositivos depende de meios que permitam a produção ou prestação do serviço. Isso porque sempre surgem problemas, como desgaste, quebra, fadiga e muitos outros incidentes observados durante os processos (Nepomuceno, 1989). Em razão disso, toda e qualquer máquina, equipamento ou instalação utilizados nesses processos necessita de algum tipo de manutenção.

A função desempenhada pelo setor de manutenção deve ser considerada parte integral e fundamental da organização (Morrow, 1982), pois assegura a disponibilidade de equipamentos, instalações e serviços, indispensáveis no desenvolvimento de suas funções, justificando, assim, sua existência. A manutenção deve ser considerada uma organização funcional da estrutura que dirige uma parte das operações da empresa, na qual, com o aumento da complexidade tecnológica, o setor de produção torna-se cada vez mais dependente do setor de manutenção.

A manutenção é uma atividade que, pela sua crescente importância e aumento da complexidade dos equipamentos, necessita do apoio e da cooperação mútua dos demais setores, os quais precisam ter um

perfeito entrosamento com o setor responsável por ela, a fim de terem um bom desempenho em suas funções (Morrow, 1982). Existem muitas formas de definir a manutenção, mas, para que haja uma uniformização dos conceitos, neste trabalho, serão utilizadas as definições estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994).

Segundo a ABNT, a *manutenção* é a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

O setor de manutenção, independentemente da organização ou do tamanho da sua estrutura, deve ter como principais objetivos:

- assegurar que não haja quebras repentinas durante a utilização dos equipamentos;
- manter o equipamento em condições satisfatórias para que haja segurança nas operações;
- fornecer a máxima eficiência aos equipamentos;
- reduzir o tempo do equipamento parado;
- garantir a realização dos serviços de produção;
- diminuir os custos de manutenção.

Uma vez alcançados os objetivos da manutenção, pode-se concluir que a sua maior importância está na garantia do atendimento dos prazos assumidos, num aumento considerável da vida útil dos equipamentos e, por consequência, na redução dos custos. Além disso, uma manutenção bem-

feita reduz os riscos de acidentes de trabalho, o que traz maior confiança e satisfação aos usuários ou técnicos.

O administrador ou o responsável pela manutenção que objetiva ir ao encontro dos itens citados necessita colocar em prática os seguintes requisitos:

- ter uma equipe técnica adequadamente assessorada e supervisionada;
- elaborar um programa eficiente de manutenção preventiva;
- realizar um estudo permanente das causas e soluções para as paradas repentinas;
- manter um relacionamento harmonioso com os demais departamentos da estrutura.

O setor de manutenção é o responsável direto pelo uso contínuo e econômico dos equipamentos e ferramentas, bem como pela organização e execução do programa de manutenção preventiva. Tais serviços são proporcionados pela manutenção, que assegura, desse modo, um trabalho seja realizado de forma rápida e econômica, de acordo com o estabelecido; para isso, o setor precisa ser auxiliado pela produção e por práticas de segurança e técnicas apuradas de manutenção (Morrow, 1982).

A Figura 2-1 mostra as funções básicas que o setor de manutenção deve estabelecer para que haja condições de atender aos seus objetivos.

A manutenção envolve ações, planejadas ou não, com o objetivo de manter ou recolocar um item em condições de desempenhar uma função

determinada. Usualmente, costuma-se classificar os trabalhos executados pela manutenção, desde um ponto administrativo, em três níveis distintos: Nível I, que corresponde à Manutenção Corretiva; Nível II, que consiste na conhecida Manutenção Preventiva, e Nível III, que constitui uma técnica diferente denominada Manutenção Preditiva (Nepomuceno, 1989).

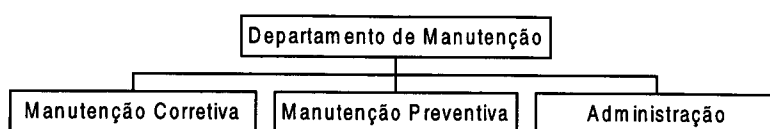


Figura 2-1: Funções básicas do departamento de manutenção.

2.1.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva é também chamada *manutenção de emergência* por significar uma ocorrência de manutenção imprevisível ou inesperada que causa a indisponibilidade total ou parcial do equipamento, ou seja, devem ser tomadas as providências essenciais para que a máquina ou dispositivo volte a funcionar. Esta estratégia de manutenção é a mais antiga e mais elementar dentro de uma organização de manutenção, sendo indispensável a qualquer estrutura que deseje manter a operacionalidade de máquinas e equipamentos (Ariza, 1982).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994) estabelece *manutenção corretiva* como sendo “a manutenção efetuada após a

ocorrência de uma pane¹, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”.

A manutenção corretiva limita-se à espera da ocorrência de uma falha para, só então, ser posta em prática (Schoeps, 1975). É a manutenção que tem por objetivo restaurar um item, ou seja, é a correção ou reparo de um mau funcionamento devolvendo àquele, o mais próximo possível, seu estado inicial; inclui a detecção da falha ou disfunção, a correção e posterior verificação (Kline, 1981 apud Queiroz, 1988).

2.1.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva constitui um nível mais elaborado de manutenção que, assim como os demais níveis, recebe definições variadas, conforme a interpretação e ponto de vista de cada autor. Levando em conta isso, podemos citar, dentre essas definições, as que possuem semelhanças quanto ao seu objetivo principal.

Segundo Kline, *manutenção preventiva* é aquela executada freqüentemente, com base em programações (Kline, 1981 apud Queiroz, 1988).

Já Mirshawka (1991) define *manutenção preventiva* como sendo o tipo de manutenção que utiliza critérios predeterminados, programada segundo o número de unidades de utilização e em função do tempo.

¹ Estado de um item é caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção preventiva ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos (ABNT, 1994).

A ABNT, por sua vez, trata a *manutenção preventiva* como sendo “a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item” (ABNT, 1994).

De forma geral, a manutenção preventiva é caracterizada por constituir um trabalho de prevenção de defeitos que possam originar a parada ou um baixo rendimento dos equipamentos. Esta prevenção é feita com base em estudos estatísticos (experiências anteriores), no estado do equipamento, no local de instalação, nos dados fornecidos pelo fabricante, tais como condições ótimas de funcionamento, nos pontos de periodicidade de limpeza, lubrificação, etc. Este tipo de manutenção será tratado mais detalhadamente no capítulo 3 deste trabalho.

2.1.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A simples substituição periódica de peças, realizada mesmo que não haja certeza de que a troca está sendo efetuada no final da sua vida útil, é denominada *manutenção preventiva clássica* e se baseia em estatísticas de confiabilidade. Esta foi empregada no início da segunda conflagração mundial (1939/1946) pela marinha e aeronáutica americanas, em virtude do interesse primordial que a aviação assumia naquele contexto histórico, por motivos óbvios de segurança (Nepomuceno, 1989). Desta maneira, uma grande lista de peças de reposição periódica era gerada. Um exemplo disso era a simulação dos trens de pouso de um avião, quando eram aplicadas cargas

semelhantes às de um pouso normal sobre as suas peças, num processo realizado "N" vezes, até que a peça falhasse. A essa quantidade de simulações acrescentava-se um coeficiente de segurança, do que resultava o valor correspondente ao período de substituição da peça.

As Forças Armadas americanas verificaram, entretanto, que as peças substituídas, muitas vezes, não necessitavam ser trocadas, pois não apresentavam qualquer sinal de defeito. Dessa forma, passaram a investir em ensaios não destrutivos para o aprimoramento do período de substituição das peças, tais como líquidos penetrantes, ensaios ultra-sônicos, ressonância magnética entre outros. A partir disso, as peças passaram a ser substituídas com base no seu estado real e não mais por número de eventos ou em função do tempo; passaram, então, a ser utilizadas até o final de sua vida útil, através do monitoramento de suas condições. Foram, assim, sendo criadas as técnicas e procedimentos que caracterizam o tipo de manutenção chamada *manutenção preditiva*.

Esse tipo de manutenção é denominado, erroneamente, por diversos autores, como manutenção *preventiva*, engano que poderia ser evitado se os dois termos - *previsão* e *predição* - fossem bem entendidos. *Prevenção* significa a substituição de um componente, o qual, por meio de estatísticas de confiabilidade, supõe-se estar no final de sua vida útil (Nepomuceno, 1989). Por sua vez, entende-se por *predição* a substituição do componente baseada em dados numéricos obtidos a partir da medição de parâmetros relativos ao componente.

A manutenção preditiva tem por finalidade determinar o instante adequado para a intervenção, evitando a pane ou parada inesperada, ou seja,

executar-se a manutenção preventiva nos equipamentos no ponto exato em que eles interferem na confiabilidade do sistema². Isso é possível pela coleta de dados relativos às variáveis pertinentes a cada componente, pela comparação desses dados em função do tempo de funcionamento e pela interpretação dessas variáveis (Nepomuceno, 1989).

De acordo com Mirshawka (1991), a manutenção preditiva é aquela que se baseia em um acontecimento predeterminado que permite prever a tendência do mau funcionamento e o tempo restante até que ocorra a avaria.

Pela definição apresentada pela ABNT, *preditiva* é "a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva" (ABNT, 1994).

Uma maneira de se determinar o ponto ótimo de aplicação da manutenção preventiva é a que se emprega quando existe um grande número de equipamentos idênticos (quanto à função, fabricante, modelo, etc.) funcionando sob as mesmas condições, forma de determinação que se chama Análise Estatística (Tavares, 1996). Neste caso, elege-se um deles, o qual não receberá nenhum tipo de manutenção programada³ até que sofra uma avaria, estendendo-se, então, o resultado aos demais.

Outra forma de predição, chamada Análise de Sintomas (Tavares, 1996), é a análise de componentes considerados críticos, os quais

² Conjunto de dispositivos que operam formando uma unidade destinada a cumprir determinada missão ou executar determinado trabalho (Nepomuceno, 1989).

³ Manutenção preventiva efetuada de acordo com um programa preestabelecido (ABNT, 1994).

são monitorados e examinados para determinação da evolução dos sintomas que podem conduzir a falhas. Para isso, diversas técnicas são utilizadas, dependendo das características do componente avaliado.

Seja qual for o tipo de manutenção empregada na estrutura, ela sempre tem a finalidade principal de conservar o equipamento, maquinário, dispositivos, etc., visando fornecer produtos ou prestação de serviços a um baixo custo e com razoável eficiência, proporcionando, assim, lucro e segurança. Entretanto, parece óbvio que situações extremas, ou seja, só manutenção corretiva ou só preventiva, sejam desaconselháveis: a primeira, por colocar a manutenção totalmente à mercê dos acontecimentos, podendo gerar conseqüências deletérias inevitáveis, como irracionalidade na administração dos recursos alocados à manutenção ou uma pane de grandes proporções; a segunda, por exigir um investimento cujo retorno nem sempre é satisfatório, devendo ser, portanto, necessariamente orientada por prioridades, para que não haja aplicação de recursos em áreas que não justificam tal investimento.

É importante ressaltar, contudo, que, por mais eficientes e produtivas que sejam as manutenções preventiva ou preditiva, não se garante com elas 100% de eficiência, ou seja, que os equipamentos independam dos serviços da manutenção corretiva. Isso porque, apesar de serem avançadas as técnicas de predição e prevenção de falhas, os equipamentos estão sujeitos a falhas ocasionais, principalmente nas fases de sua instalação e desgaste, como é mostrado na Figura 2-2.

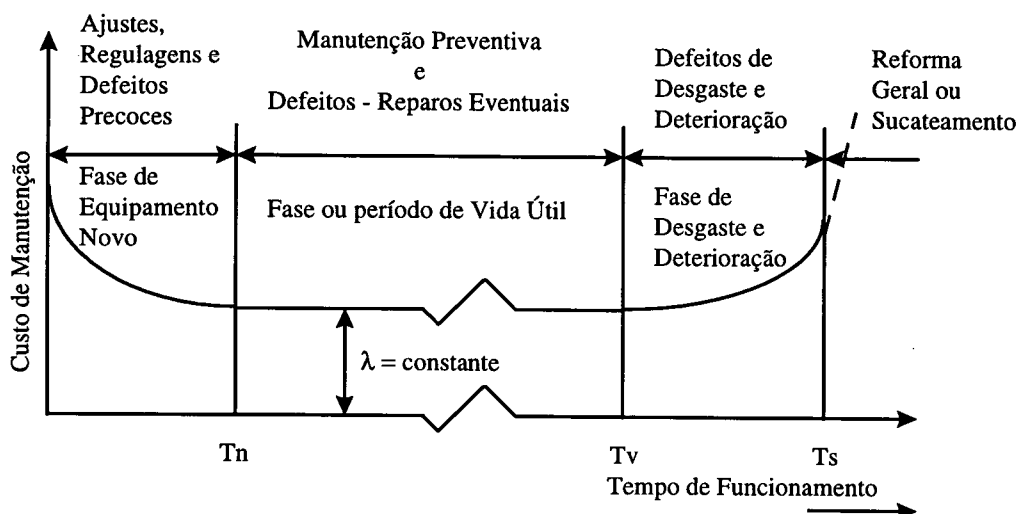


Figura 2-2: Curva da Banheira.

Embora sejam comprovados em muitas empresas os benefícios das manutenções preventiva e preditiva, os serviços executados pela manutenção corretiva são mais perceptíveis ao usuário, pois o equipamento que está parado por causa de uma falha, quando submetido a este tipo de manutenção, passa a produzir novamente; já, um equipamento que sofre uma intervenção preventiva ou preditiva está operando aparentemente sem problemas, o que dá a falsa impressão de que, tal intervenção, não seja necessária e até reflita em custos que poderiam ser evitados. Nesse sentido, há quase que unanimidade entre os entendidos sobre o fato de um programa de manutenção, para que seja bem-sucedido, dever se iniciar por um programa de reparos também bem-sucedido (Bronzino, 1992).

A Associação Brasileira de Manutenção (Abraman, 1997), em pesquisa realizada no ano de 1997, constatou que, na manutenção na área hospitalar, em que se inclui, além dos equipamentos médico-hospitalares, a manutenção das instalações e de todo o maquinário existente, a aplicação dos

recursos destinados à manutenção é direcionada, em sua grande maioria, à manutenção corretiva. O Gráfico 2-1 apresenta essa constatação e os valores relativos às demais aplicações de recursos no setor de manutenção na área hospitalar.



Gráfico 2-1: Recursos aplicados à manutenção.

No atual contexto da indústria moderna, com equipamentos avançados, de alta velocidade e produção, porém bastante complexos, que trabalham, muitas vezes, vinte e quatro horas por dia e sete dias por semana, a manutenção preventiva não apresenta resultados satisfatórios em virtude da necessidade de paradas de produção para a realização das inspeções e substituições programadas, supostamente necessárias. Com base nisso, indústrias com visão tecnológica avançada têm implantado métodos e técnicas de manutenção preditiva.

Se, por um lado, na indústria, a manutenção preditiva é a que possui as melhores perspectivas futuras, por outro, na área hospitalar, ela não apresenta as mesmas vantagens, já que a maioria dos equipamentos

eletromédicos não justificam o investimento necessário para implementação deste tipo de manutenção. Isso se deve a diferenças capitais entre equipamentos empregados nas respectivas áreas, tais como:

- níveis de complexidade de manutenção;
- dimensão dos equipamentos,
- tempos de operação dos equipamentos;
- custos devidos à paralisação.

A Figura 2-3 mostra um diagrama esquemático dos níveis de manutenção empregados na maioria das empresas fabricantes de produtos e prestadoras de serviços.



Figura 2-3: Tipos de manutenção.

2.2 ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO

A organização da manutenção dentro de um organograma dependerá das intenções e atitudes da alta direção, podendo ser, basicamente, centralizada, descentralizada ou alguma variação destes dois modos.

A execução das tarefas do departamento de manutenção é, portanto, responsabilidade do chefe do setor, o qual, por sua vez, está sob orientação e supervisão diretas da direção. A área de atuação da organização da manutenção visa à prestação de serviços com alta eficiência, custos reduzidos e qualidade elevada, além de possibilitar um controle amplo sobre materiais, ferramentas, dispositivos, planejamento do pessoal, evitando tempo ocioso e atendendo às demais exigências de uma organização de forma o mais próxima possível da perfeição (Nepomuceno, 1989). Seja para atender às necessidades identificadas na entidade, seja baseada em uma filosofia preestabelecida, a concepção adotada para a organização do setor pode atingir resultados satisfatórios.

Pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Manutenção - Abraman -, sobre um conjunto de índices relativos ao desempenho dos setores de manutenção nos vários setores da economia, aponta que a forma de atuação da organização da manutenção apresenta uma tendência de crescimento das organizações mistas e descentralizadas. O Gráfico 2-2 mostra claramente a divisão dos tipos de organização nas diversas áreas da economia brasileira (Abraman, 1997).

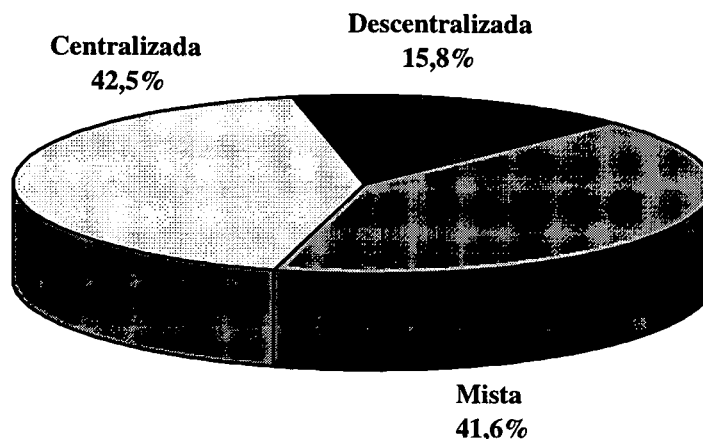


Gráfico 2-2: Organização da manutenção no Brasil.

2.2.1 MANUTENÇÃO DESCENTRALIZADA

A manutenção descentralizada, também denominada *manutenção por área*, como seu próprio nome indica, implica a divisão da estrutura em áreas, cada uma com sua própria equipe de manutenção (Schoeps, 1975). Isso é feito para melhorar a eficiência e a economia em razão de os escritórios e oficinas estarem localizados próximos aos departamentos das respectivas áreas. A equipe torna-se eficiente na conservação do equipamento da própria área, porém, se não está familiarizada com o equipamento em virtude do aproveitamento de pessoal de outras áreas, os custos de manutenção são incrementados (Morrow, 1982).

A organização por áreas, se bem planejada, inclui pequenas oficinas de conserto. No entanto, por razões econômicas, tais oficinas possuem capacidade limitada e são encarregadas apenas de certos tipos e quantidade de consertos, sendo os demais realizados pela oficina central.

A mão-de-obra que se emprega por áreas normalmente é maior que a da manutenção centralizada, pela dificuldade de deslocar um trabalhador de uma área à outra. Essa maior quantidade de mão-de-obra acarreta trocas de operários de manutenção ociosos, quando os equipamentos de uma dada área estão em perfeitas condições de funcionamento (Morrow, 1982).

Quando a manutenção é contratada pela produção, a inspeção é uma função da equipe de manutenção. Muitas vezes, para manter a operação dos equipamentos, opta-se por fazer reparos de pequeno porte, quando, ao contrário, o equipamento exige grandes reparos; como consequência, podem ocorrer paradas ainda maiores, o que pode resultar, também, em custos ainda maiores. A manutenção preventiva, neste tipo de organização, pode ser bastante efetiva desde que haja relações de cooperação entre o departamento de manutenção e o de produção.

A manutenção organizada por áreas possibilita o controle dos custos, diferentemente da manutenção centralizada, em razão do tipo de organização e do perfeito entrosamento entre o chefe da área e sua equipe.

As vantagens da manutenção organizada por áreas são:

- deslocamento facilitado até o local da ocorrência e retirada de ferramentas;
- conhecimento mais apurado e maior familiaridade com relação aos equipamentos;
- supervisão melhor e mais efetiva aos trabalhadores;
- maior afinidade no relacionamento produção/manutenção na mesma área;

- manutenção preventiva mais eficiente;
- maior rapidez na execução das tarefas.

Como uma forma de ilustrar a organização da manutenção descentralizada, a Figura 2-4 mostra um organograma relativo a este tipo de manutenção.

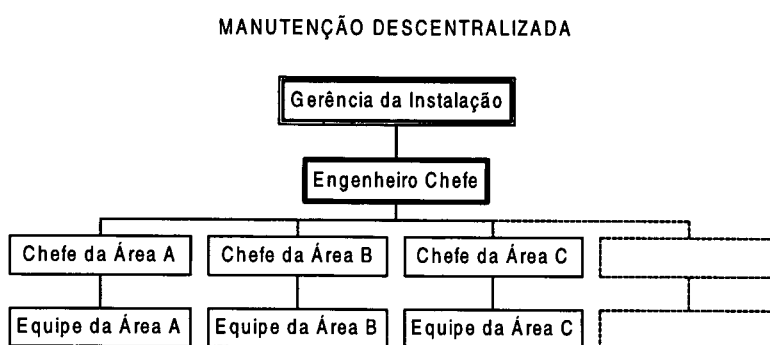


Figura 2-4: Fluxograma de um departamento de manutenção descentralizado.

2.2.2 MANUTENÇÃO CENTRALIZADA

Este tipo de organização é caracterizado pelo controle da manutenção por meio de uma estrutura central, de maneira que todas as operações sejam planejadas por um único departamento. As oficinas são centralizadas, exigindo, assim, que o pessoal de manutenção se desloque até o local do serviço, atendendo a todos os setores. A manutenção centralizada é geralmente comandada por um gerente de manutenção, que esta subordinado à direção geral (Schoeps, 1975).

Essa estrutura, quando bem empregada, proporciona uma carga de trabalho constante à equipe de manutenção, graças ao melhor aproveitamento dos serviços centralizados, podendo reduzir custos pela não-duplicação de setores ou equipamentos. Um departamento centralizado permite a uniformização das rotinas e garante o melhor aproveitamento do pessoal técnico de manutenção. A carga de trabalho pode ser mantida constante com outras tarefas, no caso de diminuição das atividades, como reformas ou inspeções preventivas, por exemplo (Schoeps, 1975).

A manutenção organizada dessa maneira favorece a homogeneidade entre os departamentos, ou seja, elimina o problema do favorecimento de departamentos ou setores, pois não possui uma ligação direta com nenhum deles em especial (Morrow, 1982). Em contrapartida, este tipo de organização origina alguns problemas, tais como necessidade de organização de prioridades, transporte, compras e controle de custos em virtude da grande diversidade de setores e áreas atendidas (Morrow, 1982).

São vantagens da manutenção centralizada:

- grande flexibilidade na escala de serviços;
- maior entrosamento da equipe técnica;
- gerenciamento mais qualificado;
- aperfeiçoamento da equipe de treinamento;
- maior disponibilidade dos recursos humanos para a execução dos serviços;
- aquisição de equipamentos mais especializados é justificada.

São desvantagens da organização centralizada da manutenção:

- dificuldade de supervisão dos empregados haja vista a necessidade de atendimento a todos os setores;
- grande retardamento na retirada de ferramentas e materiais;
- certa concorrência quanto à utilização de ferramentas ou equipamentos;
- necessidade de maior controle administrativo;
- formação da equipe técnica.

A Figura 2-5 ilustra um diagrama de blocos genéricos, que exemplifica a organização da manutenção centralizada.

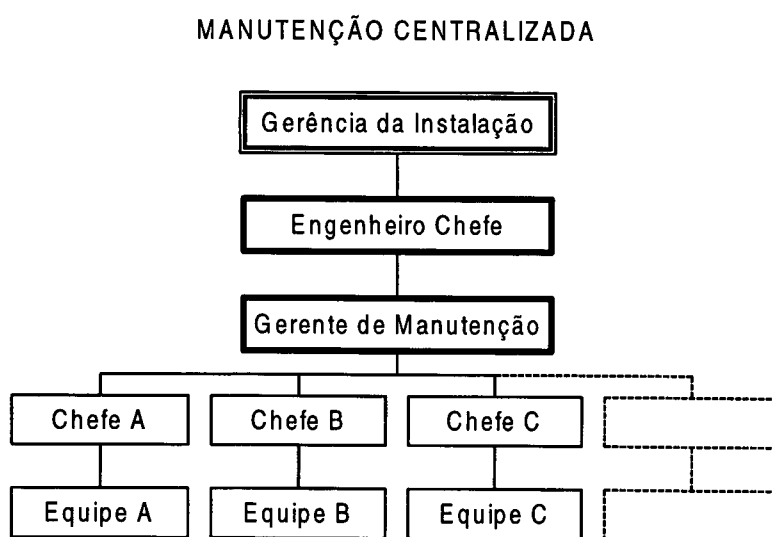


Figura 2-5: Diagrama de blocos de um departamento de manutenção centralizado.

Existe uma grande variação nas formas de organização da manutenção tendo em vista, principalmente, o porte da empresa ou hospital. A

centralização total, por exemplo, comumente concentrada num único homem, auxiliado por dois ou mais executores, é perfeitamente possível em empresas de pequeno e médio porte. Entretanto, em todos os tipos de organização da manutenção, existe um certo grau de centralização, que pode abranger a manutenção mista e a manutenção contratada.

2.2.3 MANUTENÇÃO MISTA

A manutenção mista, também denominada *integrada* ou *combinada*, é obtida da fusão dos dois tipos básicos de organização da manutenção, a centralizada e a descentralizada, aproveitando-se as vantagens que cada uma oferece. A manutenção centralizada é considerada a mais adequada a empresas de grande porte por permitir um controle maior do setor. Por outro lado, há concordância em que este tipo de organização acarreta uma certa inércia na realização das tarefas do setor de manutenção (Nepomuceno, 1989).

Um processo mais eficiente dos já apresentados consiste numa organização integrada, a qual é formada por uma oficina centralizada com ramificações em todas as áreas de apoio que estão em condições de executar reparos de pequena monta. Em tarefas que necessitem de maior aparato, tanto pessoal como ferramental, a oficina central desloca para o local da ocorrência especialistas que a executam. A programação, o planejamento e a coordenação continuam sendo inteiramente realizadas pela oficina central. A Figura 2-6 apresenta um organograma da manutenção mista.

São vantagens da manutenção mista:

- equipe apta em todas as áreas;
- controle das despesas de manutenção;
- cada área possui amplos conhecimentos dos equipamentos;
- rapidez e eficiência no atendimento dos serviços.

São desvantagens relativas à manutenção mista:

- priorização feita pela manutenção;
- excesso de pessoal em algumas áreas;
- duplicidade de ferramentas e equipamentos.

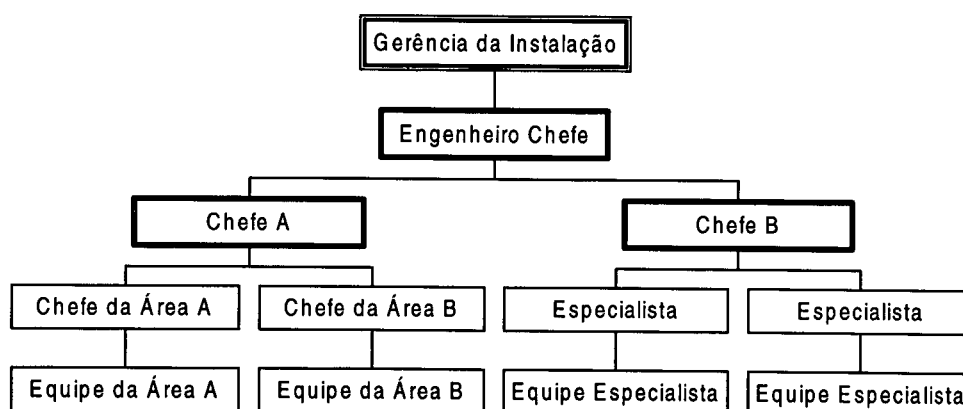


Figura 2-6: Organograma de um departamento de manutenção misto.

Na área hospitalar, em hospitais com estruturas organizacionais mais avançadas, o setor de manutenção é de inteira responsabilidade de uma estrutura de engenharia clínica, que, além da manutenção, é responsável pela aquisição e ensaios de equipamentos, treinamento de usuários, entre outras. A

manutenção, parte da estrutura de engenharia clínica - EEC -, é organizada, segundo Veneziano, como mostra a Figura 2-7 (Veneziano, 1997).

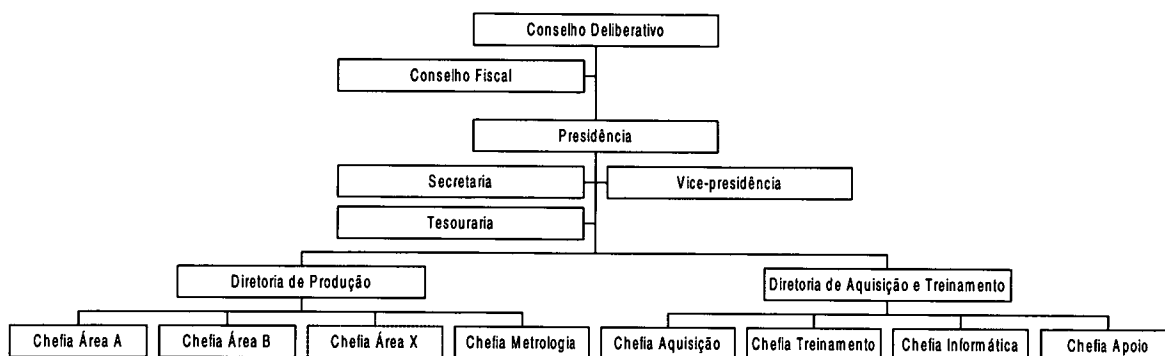


Figura 2-7: Diagrama de blocos detalhado de uma estrutura de engenharia clínica.

2.2.4 MANUTENÇÃO CONTRATADA

As empresas buscam, basicamente, atender às necessidades de manutenção de seus equipamentos, instalações, enfim, da estrutura como um todo. Para isso, contam com dois tipos básicos de organização da manutenção - centralizada e descentralizada -, como já foi mencionado (Nepomuceno, 1989). Contudo, por mais eficientes e organizados que sejam os métodos do departamento de manutenção, existem determinados tipos de equipamentos ou serviços que o setor de manutenção não possui condições de atender, dada a sua grande diversidade do ponto de vista técnico.

Independentemente do porte da empresa, a execução de certas tarefas, geralmente periódicas e de curta duração, não justifica o investimento aplicado em equipamentos, ferramentas e pessoal altamente qualificados, que

atendam às necessidades específicas, como execução de ensaios, testes, manutenção preventiva e sistemática e outros serviços especiais. Por isso, usam-se os serviços de empresas especializadas, que oferecem serviços satisfatórios a um custo razoável e com maior segurança, principalmente porque são realizados por equipes constituídas por pessoal habilitado, treinado e qualificado (Nepomuceno, 1989).

Nesse caso, requisitos determinantes nos contratos de serviços devem ser a observância e a obediência dos prazos estipulados para a execução dos serviços, pois, de outro modo, haverá um aumento dos fatores decisivos que determinarão a conveniência ou inconveniência da contratação de serviços externos (Schoeps, 1975).

A prática de contratar a manutenção é indicada a empresas onde são identificadas carências ou serviços considerados ocasionais, tais como:

- os equipamentos utilizados na estrutura possuem tecnologia avançada, o que exige pessoal muito especializado e/ou ferramentas e materiais específicos;
- os serviços são de natureza não contínua e de custo definido, como jardinagem, pintura das instalações, etc.

A contratação de serviços de manutenção exige que se tomem certas precauções, de maneira que não haja prejuízos em virtude da má elaboração dos contratos. Os termos contratuais devem estar bem definidos e ser abrangentes no que diz respeito aos serviços prestados, tipo e programa de manutenção, bem como em relação a todos os aspectos referentes à

qualificação do pessoal técnico, prioridades das intervenções, peças sobressalentes, entre outros.

Especificamente em relação aos hospitais, muitos deles se utilizam de diferentes fontes de serviço para a manutenção de seus equipamentos médicos. Quando um equipamento representa um alto investimento e se caracteriza pela grande sofisticação, o hospital faz contratos de serviços de manutenção totais com fabricantes ou empresas especializadas. Quando o conserto do equipamento exige conhecimentos específicos, como métodos de procura de falhas especiais, equipamentos de teste ou trocas de peças, o hospital contrata fabricantes ou representantes especializados para resolver tais problemas. Os contratos efetuados referem-se, geralmente, a duas categorias de prestação de serviços: serviços especializados em uma quantidade limitada de equipamentos e serviços especializados no fornecimento de documentação, manutenção preventiva de uma grande quantidade de equipamentos.

Os hospitais contratam pelo menos um desses dois tipos de serviços externos, em contratos que geralmente apresentam cláusulas para benefício próprio das empresas (AHA, 1982). Portanto, a instituição deve analisar os seguintes aspectos antes da efetivação do contrato externo:

- qualificação do serviço - checar as referências do serviço a ser contratado, tais como experiência, existência de manuais e equipamentos de teste adequados, etc.;
- equipamentos cobertos pelo contrato - necessário para evitar que certos equipamentos sejam abrangidos por dois ou mais

contratos, sendo, portanto, subaproveitados, enquanto outros não possuem nenhum tipo de cobertura quanto à manutenção;

- duração do contrato - referente ao período de tempo de vigência do contrato, sendo aconselhável que o período não dure mais de um ano;
- serviços estipulados - a cobertura do contrato deve descrever detalhadamente os direitos do hospital, como manutenção preventiva (frequência de inspeções e procedimentos), chamadas para reparos (quantas chamadas, valor máximo, viagens, etc.) e peças de reposição (valor-limite);
- termos e condições - o hospital não deve aceitar condições impostas quanto ao tempo de contrato mínimo ou multas por rescisão antecipada; também pagamentos antecipados devem ser evitados;
- custo do contrato - contratos baseados em percentuais do valor do equipamento devem ser evitados sob pena de haver superfaturamento do serviço.

No Brasil, a manutenção contratada está em franca expansão. Dados fornecidos por pesquisa realizada pela Abramam indicam que os custos relativos à terceirização no Brasil passaram de 7,9% em 1988 para 34,23% em 1997, ou seja, houve um aumento de 433% em um período inferior a dez anos. Esta ascensão se deve principalmente à enorme diversificação de tecnologias, fruto da sofisticação contínua dos equipamentos e dispositivos, como também à globalização da economia e abertura dos mercados, pois a exigência de

confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos torna a competição ainda mais acirrada. O Gráfico 2-3 aponta os índices da realidade nesse aspecto no país (Abraman, 1997).

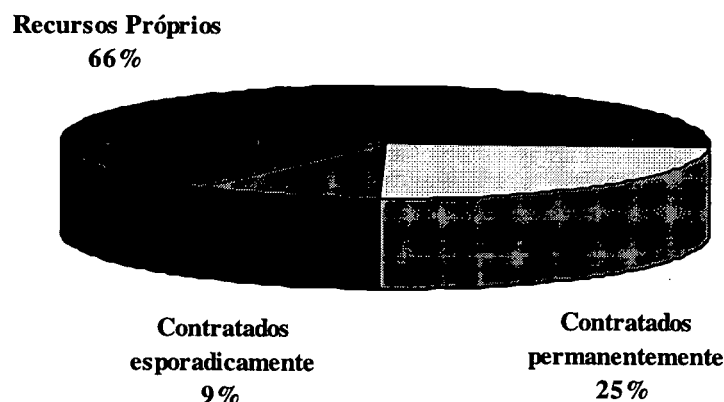


Gráfico 2-3: Divisão dos recursos de manutenção nas empresas.

2.3 CUSTOS DE MANUTENÇÃO

O objetivo principal em qualquer sistema de custos é proporcionar uma atividade relativa à confiabilidade e proporcionar ao departamento de manutenção a informação para a avaliação de seu funcionamento.

O custo da manutenção é muito importante no processo de quantificação e avaliação do objetivo da manutenção, que é o de manter os equipamentos funcionando com desempenho satisfatório no decurso do tempo. Para isso, torna-se necessário um estudo minucioso do método a ser utilizado, a fim de que os gastos com a manutenção não extrapolem o limite aceitável, tornando-se inconvenientes. O Gráfico 2-4 mostra as relações entre

manutenção corretiva, manutenção preventiva e os custos totais de manutenção (Nepomuceno, 1989).

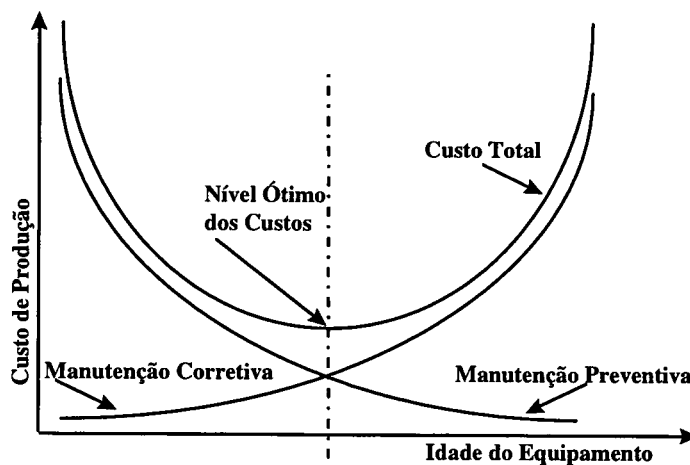


Gráfico 2-4: Custos de manutenção.

Estudos relativos à manutenção de equipamentos médicos estabelecem que o gasto anual com a manutenção do equipamento representa somente 10% do custo de sua compra (Hawkins, 1992 apud Veneziano, 1997). A Figura 2-8 apresenta uma ilustração dos diversos custos que devem ser considerados na compra de um equipamento médico, além do custo direto dele. Nela também é mostrado que o valor de compra representa somente parte dos custos totais anuais incorporados ao equipamento.

Os custos referentes à manutenção corretiva aumentam de forma exponencial com o decorrer do tempo devido à soma de vários fatores, tais como redução da vida útil das peças, perda de produção por causa de paradas não planejadas, aumento de aquisição de peças sobressalentes, crescimento do risco de acidentes, aumento de falhas mais abrangentes, entre outros (Tavares, 1996).



Figura 2-8: Custos de manutenção de equipamentos.

Já os custos relativos à manutenção preventiva apresentam uma curva de custos que decai com passar do tempo, na ordem de 20% ao ano, com tendência de estabilização, podendo representar uma economia de 300 a 500% (Baladin et al, 1975 e Heintzelman, 1980 apud Tavares, 1996). Na implantação dos procedimentos de MP, o investimento inicial é relativamente alto, o que se deve, basicamente, à inexperiência do pessoal da manutenção; porém, à medida que o processo é aperfeiçoado, as ocorrências de falhas tendem a diminuir e a se estabilizar.

A Equação 2-1 é uma expressão básica de medição de resultados de uma atividade, em que é relacionado o valor com a qualidade e o custo (Lima, 1995 apud Tavares, 1996).

Assim,

$$\text{Valor} = \frac{\text{Qualidade}}{\text{Custo}}$$

Equação 2-1

ou seja, obtem-se um valor ideal para um produto ou serviço a partir do incremento da qualidade associada a uma redução dos custos.

2.3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS CUSTOS

A realização de tarefas, seja para obtenção de um artigo, seja para prestação de serviços, envolve métodos e processos específicos que exigem o emprego de recursos. Com base nisso, pode-se considerar o *custo* como sendo todo e qualquer esforço feito para produzir determinado bem ou serviço (Martins, 1990).

Os custos podem ser divididos em categorias, de acordo com as suas várias classificações: custos diretos ou indiretos, variáveis ou fixos (Martins, 1990):

- custo direto - refere-se ao custo do insumo cujo consumo pode ser medido, por exemplo, mão-de-obra;
- custo indireto - considera o custo necessário à produção mesmo que não esteja diretamente ligado ao produto, por exemplo, taxa de telefone;
- custo fixo - é o custo constante e que não flutua a curto prazo, por exemplo, aluguel;

- custo variável - relativo a um custo que flutua conforme o nível de atividade, cuja quantidade pode variar instantaneamente, por exemplo, matéria-prima.

O departamento de manutenção pode ainda discriminar os gastos em três classificações distintas, dependendo das atividades realizadas, as quais podem ser:

- incorporação de recursos - a incorporação de recursos é definida como sendo qualquer tipo de recurso ativo adquirido pela empresa, de que é um exemplo típico a aquisição de um equipamento, seja ele comprado ou construído. Dentro desta categoria, estão as obras de melhoramento, tais como alterações, modernizações ou mudanças estruturais, substituição de uma unidade que resulte no aumento da vida útil da estrutura;
- reparo e manutenção - esta categoria inclui todos os gastos relativos à manutenção de uma estrutura e dos equipamentos em condições satisfatórias de operação. Um exemplo de atividade que deve ser incluída como parte dos gastos de reparos é a manutenção preventiva, seja por inspeções de rotina, seja por reparos antecipados de uma parada. Em suma, fazem parte desta categoria os gastos com manutenção corretiva, preventiva e de conservação, como pintura e conservação predial;

- recursos essenciais - recursos essenciais são todos os recursos necessários ao funcionamento da estrutura, tais como ar comprimido, água, vapor e eletricidade, ou seja, são os custos que acompanham as condições mínimas da realização das tarefas pelo departamento de manutenção.

2.3.2 ELEMENTOS DO CUSTO

Como mencionado anteriormente, o custo de um produto ou serviço é formado por vários componentes, de forma que o valor de compra do equipamento constitui apenas uma parte do custo total (Figura 2-8). Portanto, os custos, numa empresa, podem ser classificados em seis elementos básicos (Morrow, 1982):

- equipamento - são os custos referentes a qualquer equipamento adquirido pela empresa ou fabricado pelo seu setor de manutenção. Exemplo: válvula retentora;
- insumos - abrangem todos os artigos necessários ao funcionamento e operação do setor de manutenção. Exemplos: canos, porcas, parafusos, etc.;
- mão-de-obra - é caracterizada pelo tempo empregado na realização de uma tarefa ou função por um técnico;
- serviços externos - formados pelos gastos decorrentes da execução de serviços contratados;

- gastos indiretos da manutenção - este elemento inclui a depreciação de ferramentas utilizadas na realização das funções, tais como limas, brocas, ferramentas, etc.;
- gastos indiretos da empresa - são os gastos administrativos da empresa divididos por todos os seus setores, entre eles, salários, infra-estrutura e todo tipo de gasto que não pode ser atribuído exclusivamente à manutenção.

2.3.3 CONTROLE DE CUSTOS

O sistema de controle de custos do departamento de manutenção deve ir ao encontro do sistema utilizado pela empresa. Ainda que, para a manutenção, adaptações e ajustes tenham que ser realizados, eles devem acompanhar o modelo geral de controle de custos da empresa (Morrow, 1982). O controle de custos adotado pela manutenção deve objetivar, essencialmente, os seguintes itens:

- distribuir justamente os custos de reparos aos departamentos que deles necessitam;
- fornecer informações à administração da manutenção;
- fornecer informações úteis ao departamento de contabilidade da empresa.

Um dos métodos mais efetivos de controle de custos é o de custos de trabalho, que emprega os gastos relativos à mão-de-obra,

acessórios e serviços em um setor específico da empresa (Morrow, 1982). Qualquer que seja o sistema adotado, ele deve ser bastante flexível, proporcionando, assim, informações úteis à administração, que possam ser empregadas na resolução de problemas relativos ao custo.

Um departamento de manutenção justifica sua existência dentro de uma empresa quando opera continuamente a favor da obtenção dos objetivos gerais estipulados pela administração (Morrow, 1982). Dessa forma, a política de operação do departamento de manutenção deve objetivar a produção de artigos ou serviços a um custo mínimo.

2.4 CONCEITOS APLICADOS À MANUTENÇÃO

2.4.1 CONFIABILIDADE

A confiabilidade é uma das idéias fundamentais no meio da manutenção, entretanto a definição precisa deste conceito encontra enormes dificuldades, em virtude, principalmente, do tratamento puramente intuitivo ou aplicação a uma situação específica, adotados pelo pessoal de gerência de manutenção. De maneira geral, um dispositivo é considerado confiável quando “permanece cumprindo suas funções durante toda a vida útil estabelecida pelo projeto, independentemente de condições favoráveis ou adversas”, desde que tais condições não excedam limites considerados razoáveis (Nepomuceno, 1989).

De outra forma, confiabilidade pode ser entendida como a probabilidade de um equipamento fabricado em conformidade com seu projeto operar durante um período de tempo especificado sem apresentar falhas indesejáveis. Para isso, devem ser obedecidas as instruções do fabricante quanto à manutenção e ao atendimento dos termos e tensões especificadas (Nepomuceno, 1989).

Segundo a ABNT, *confiabilidade* é a “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo” (ABNT, 1994).

Após o início da Revolução Industrial, a necessidade de padronização de peças, bitolas, roscas, etc., ficou evidenciada. Com base nisso, e em comparações agora válidas devido à padronização, observou-se que a vida útil de uma peça ou componente era inversamente proporcional à carga aplicada nela.

O conceito de confiabilidade foi, primeiramente, desenvolvido por Robert Lusser e Erich Pieruschka (Nepomuceno, 1989), no período compreendido entre a Primeira e a Segunda Guerra Mundial, os quais se basearam em estatísticas que apontavam as falhas em mísseis utilizados pelas Forças Armadas norte-americanas. Essas falhas originavam-se de um único componente, porém nem sempre eram causadas pelo mesmo componente.

Assim os dois pesquisadores estabeleceram, através de estudos estatísticos e de probabilidade, que a confiabilidade total de um sistema é a multiplicação da confiabilidade de todos os componentes compreendidos por este sistema e que, portanto, a confiabilidade é um número maior ou igual a zero e menor ou igual a um, ou seja, a confiabilidade total do sistema é menor

ou igual à menor confiabilidade de um componente. O estudo realizado por Lusser e Pieruschka, aplicado aos mísseis usados pelas Forças Armadas dos EUA, elevou a confiabilidade de zero para 75% (Nepomuceno, 1989).

A confiabilidade de cada peça de um equipamento ou sistema deve ser a mais alta possível, visto que, quando interligada a outras peças para a formação de um sistema, afeta diretamente a confiabilidade deste, determinando a sua operação satisfatória ou não. Como visto anteriormente, a confiabilidade total é a multiplicação das individuais. Dessa forma, pode-se dividir a confiabilidade em duas classes: confiabilidade inerente e confiabilidade atingível (Nepomuceno, 1989).

2.4.1.1 Confiabilidade Inerente

Esta classe de confiabilidade leva em conta o máximo de garantia do sistema, podendo ser considerada a confiabilidade ideal, ou seja, ela trata idealmente a operação, o ajuste, a produção, tal qual estipulado pelo projeto, não considerando os erros decorrentes de qualquer uma dessas atividades.

2.4.1.2 Confiabilidade Atingível

Consiste da confiabilidade real apresentada pelos componentes ou sistemas, em que são incluídos todos os erros referentes à operação, montagem e implantação do projeto original, sendo, portanto, seu valor inferior

ao inerente. Esta classe está diretamente interligada com o controle de qualidade exercido sobre os itens já citados.

2.4.2 MANUTENABILIDADE

Assim como o conceito de confiabilidade, a manutenabilidade foi desenvolvida no início da Revolução Industrial e, como qualquer descoberta, também é fruto da necessidade de se manter as máquinas operando, exigida pelas transformações e descobertas da época. Porém, somente após a década de 1960, passou a ser seriamente estudada e aplicada, devido ao surgimento e desenvolvimento das “tecnologias de ponta”.

Inicialmente, a manutenabilidade veio ao encontro de exigências de mecânicos de produtos, que exerciam a manutenção após determinado período de operação. Em consequência, desenvolveu-se, progressivamente, uma série de regras e linhas de ação a fim de facilitar a manutenção de determinado item na execução de determinada função.

A manutenabilidade é parte de um produto projetado com determinada finalidade, que permite a realização satisfatória das suas funções durante a sua vida útil e a um custo mínimo (Tavares, 1996).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas define *manutenabilidade* como “capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos” (ABNT, 1994).

Muitos dos procedimentos utilizados nos projetos dos produtos, tais como modularização, permutabilidade, acessibilidade, dispositivos indicadores, etc., mostraram-se altamente facilitadores dos serviços de manutenção. Dessa forma, a eficiência desses serviços tem melhorado significativamente graças ao conceito de manutenabilidade (Nepomuceno, 1989).

2.4.3 DISPONIBILIDADE

Disponibilidade é um método de avaliação dos custos de manutenção determinado a partir do tempo médio entre falhas (TMEF), ou seja, tempo disponível e tempo médio de conserto (tempo ocioso).

A disponibilidade de um item qualquer é definida e calculada pela relação do tempo em que o equipamento está disponível com o tempo total, como mostra a Equação 2-2.

$$A = \frac{\text{tempo disponível para utilização}}{\text{tempo disponível} + \text{tempo ocioso}} \quad \text{Equação 2-2}$$

Onde:

A = índice da disponibilidade do item, seja ele uma máquina, um produto ou um equipamento;

tempo disponível = tempo para a verdadeira utilização do item que está apto a operar sem qualquer restrição ou impedimento, podendo, assim, realizar suas funções;

tempo ocioso = tempo gasto na realização de intervenções, inspeções, manutenção preventiva, etc.

A definição adotada pela ABNT para *disponibilidade* é “capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenabilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados” (ABNT, 1994).

Os vários estados de um item estão representados na Figura 2-9, onde podem ser observadas, entre outros, a disponibilidade e a indisponibilidade de um item qualquer.

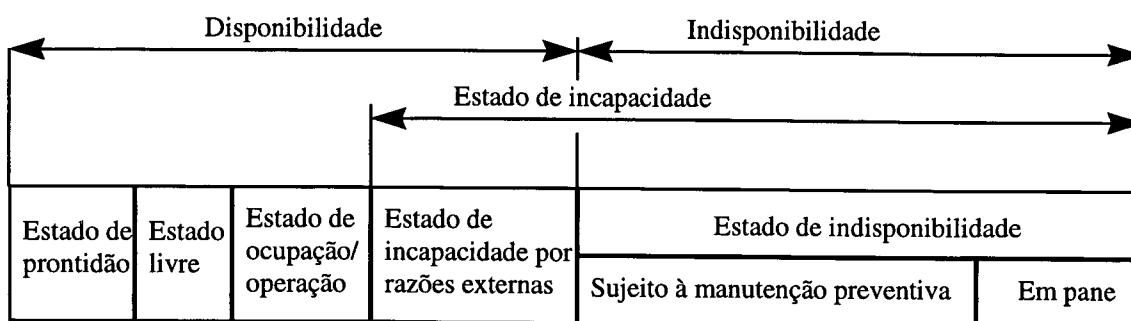


Figura 2-9: Estados de um item.

2.4.4 MÉTODO DA ÁRVORE DE FALHAS

Este método consiste da avaliação de cada componente do sistema em função de suas falhas potenciais e respectivas causas. A árvore de falhas deve ser empregada somente após a conclusão do projeto a ser analisado. O método tem por finalidade principal considerar todos os aspectos possíveis de erro, seja na fabricação, seja na montagem, instalação ou operação, sendo, portanto, excelente para uso nas atividades realizadas pela manutenção.

O diagrama que constitui o método possui uma importância ímpar no treinamento de pessoal técnico para a manutenção, por ser um método que permite a análise simplificada de sistemas complexos e, também, por permitir uma análise bastante útil quando se trata das maneiras e modos de falhar, com os respectivos efeitos de tais falhas. A elaboração do diagrama da árvore de falhas possui duas finalidades distintas (Nepomuceno, 1989):

- determinar os possíveis efeitos de uma falha que origine uma seqüência de eventos;
- determinar as possíveis causas de falhas de um efeito causado por um componente ou sistema qualquer.

O caminho a ser percorrido na determinação das finalidades citadas varia de um evento indesejado, no caso da segunda hipótese, até sua causa; ou de uma causa até os possíveis efeitos terminais, no caso da primeira. Com isso, pode-se concluir que uma árvore de falhas nada mais é

que um diagrama lógico de eventos que descrevem as relações de causa-e-efeito das diferentes falhas (Nepomuceno, 1989).

2.4.5 APROXIMAÇÃO LÓGICA PARA A LOCALIZAÇÃO DE FALHAS

A localização de defeitos pode ser feita utilizando-se, basicamente, dois métodos: por análise baseada em teoria de circuitos, ou por revocação de casos anteriores, por vezes também chamada *aproximação de estudo de casos*. Estes dois processos lógicos diferentes podem ser usados na determinação de defeitos em equipamentos (Aston, 1990).

O método que utiliza a aproximação de estudo de casos é recomendado quando, numa determinada parte do equipamento, se observam problemas crônicos ou, mesmo, a repetição freqüente de certos defeitos. Neste caso, a averiguação de dados que indiquem a repetição do problema pode apontar possíveis soluções já empregadas anteriormente, possibilitando, com isso, economia de tempo e ações inúteis. Esta metodologia é a usualmente utilizada por médicos no diagnóstico de doenças (Aston, 1990).

A teoria de circuitos é outro método básico de procura de falhas, a qual usa a análise lógica das evidências. Aqui, os dados relativos à falha são colhidos e usados para isolar a causa analiticamente. Teoricamente, toda e qualquer falha originada pelo hardware de um equipamento médico poderia ser solucionada por este método, já que a teoria de circuito é a base do projeto desses equipamentos. Entretanto, esta análise pode mostrar-se extremamente complexa, tornando-se impraticável. Uma abordagem sistêmica de procura de

falhas utiliza tanto o método de análise de circuitos como o de estudo de casos (Aston, 1990).

A Figura 2-10 (Aston, 1990) apresenta um fluxograma básico de procura de defeitos, no qual são abordados vários aspectos, desde a avaliação do ambiente onde o equipamento está sendo utilizado, de informações fornecidas pela pessoa que estava operando o equipamento no momento da ocorrência da falha, ou de outras pessoas que o utilizam, passando pela verificação de cabos de força e do paciente até chegar aos elementos discretos de uma placa de circuito impresso que constitui parte de um módulo do equipamento.

Todos esses passos devem ser seguidos até que se possa identificar com segurança a causa da falha. Quando isso é conseguido, conserta-se o equipamento e faz-se a avaliação da necessidade de realização da manutenção preventiva no equipamento.

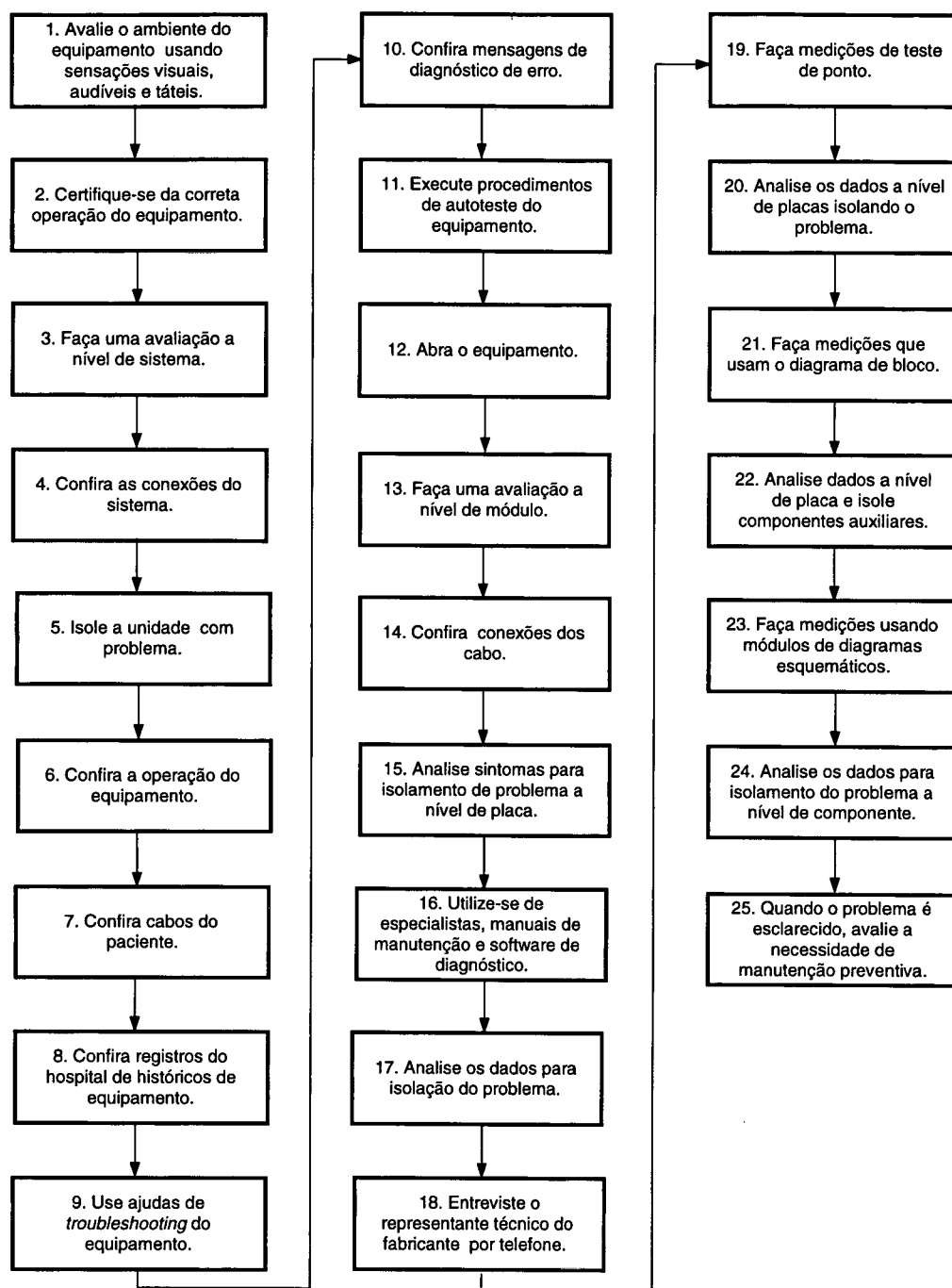


Figura 2-10: Fluxograma genérico de busca de defeito.

3. PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

3.1 INTRODUÇÃO

A definição de manutenção preventiva, é tema discutido por diversos autores, como mencionado no capítulo 2. Para simplificar, *manutenção preventiva* - MP - será considerada como uma função para minimizar as paradas imprevistas ou a depreciação excessiva do equipamento, bem como para garantir a segurança e o funcionamento dos EEM, essencial em entidades de saúde, através de inspeções periódicas que buscam descobrir e corrigir condições desfavoráveis. Todo o programa é dependente da realização eficiente das inspeções. Dessa forma, todos os EEM existentes em uma instituição de saúde devem ser inspecionados, pelo menos anualmente (Ministério da Saúde, 1995; Bronzino, 1992).

A passagem de uma situação tipicamente de manutenção corretiva para outra de manutenção preventiva, ou, mesmo, o início das atividades da empresa implicam a aplicação de técnicas de administração de manutenção, gerenciamento de materiais, gerenciamento de pessoal, controle técnico e administrativo, de modo que se deve saber *quais* são os recursos necessários, *como* e *quando* aplicá-los.

Para isso, deve-se usar todas as fontes de informações possíveis, ou seja:

- experiência na implantação de programas de MP por instituições similares;
- experiência pessoal dos responsáveis pela implantação em situações similares na aplicação das técnicas e dos recursos;
- experiência do pessoal envolvido na manutenção dos equipamentos em estudo;
- informações de manutenção fornecidas pelos fabricantes.

Um bom programa de MP necessita da cooperação e apoio do corpo de funcionários do hospital, visto que o entendimento adequado da necessidade de MP é essencial. Nesse sentido, a equipe hospitalar deve saber que nem mesmo uma manutenção preventiva intensa e freqüente pode reduzir o mau funcionamento de equipamentos se eles forem mal utilizados. O trabalho conjunto é necessário, ainda, para que os procedimentos de manutenção sejam conduzidos quando for mais conveniente para a equipe de funcionários do hospital e houver as mínimas interferências nas operações normais do desenvolvidas nele.

3.2 CADASTRAMENTO

O inventário dos equipamentos médicos é a primeira atividade que deve ser realizada para a implantação de um programa de MP eficiente

em um hospital. É de fundamental importância para o engenheiro clínico, ou responsável pela implantação do programa, o conhecimento de todos os equipamentos existentes e pelos quais ele é responsável, bem como a localização desses na estrutura.

Um ponto de partida para o inventário de equipamentos são os arquivos mantidos pelo departamento de patrimônio, o que representa apenas o início, pois o cadastramento completo só será alcançado após uma inspeção detalhada de todos os setores do hospital onde se localizam os equipamentos, ou seja, as inspeções devem ser realizadas *in loco*. Nessas, o cadastrador relaciona determinados itens relativos ao equipamento, tais como tipo, modelo, número de série, localização, número de patrimônio, assim como informações referentes ao seu estado (funcionalidade) e à sua situação. A Figura 3-1 apresenta um exemplo de cadastro que pode ser implementado (Simmons & Wear, 1988).

Quando se objetiva a implantação de um programa de MP eficiente, o cadastramento é uma importante etapa, pois é nas informações nele contidas que se baseiam todas as demais etapas do procedimento, tais como priorização dos equipamentos, roteiros e programas de inspeções, estudos de tempo-padrão, estimação da equipe técnica. Além disso, o cadastramento pode possuir enfoques e profundidade de atuação variáveis, segundo o propósito almejado, sendo uma atividade que deve ser realizada toda vez que um novo equipamento for incorporado ao parque tecnológico do hospital.

Nº de Controle	Equipamento/Modelo	Nº de Série	Localização
<p>Após uma avaliação completa do equipamento, é sugerido o seguinte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Obsoleto <input type="checkbox"/> Inadequado para o uso <input type="checkbox"/> Risco de segurança ao paciente e/ou operador <input type="checkbox"/> Falta de peças de reposição <input type="checkbox"/> Exige manutenção extensiva <input type="checkbox"/> Não atende às especificações de desempenho 			
<p>Recomendações</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Remoção do serviço <input type="checkbox"/> Dar baixa <input type="checkbox"/> Vender <input type="checkbox"/> Tornar equipamento sobressalente 			
<p>Observações:</p> 			
Técnico inspetor:		Data:	

Figura 3-1: Exemplo de formulário de cadastramento/levantamento.

Quando da realização do cadastramento, cada aparelho deve receber uma etiqueta de identificação que pode ser metálica ou adesiva, na qual se indica o número do cadastro. Esta etiqueta deve estar localizada de maneira que possa ser facilmente identificada pelo pessoal da manutenção no momento da realização da inspeção preventiva.

3.3 PRIORIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Toda e qualquer atividade produtiva que envolva algum tipo de máquina ou equipamento, mais cedo ou mais tarde, exigirá a intervenção dos serviços prestados pela manutenção, sem os quais a atividade entraria em colapso. Duas "ferramentas" básicas utilizadas pela manutenção são a correção e a prevenção de defeitos, como já mencionado anteriormente. A ação corretiva é caracterizada pela atuação somente após a ocorrência da falha; já a ação preventiva abrange procedimentos que visam à prevenção da falha antes da sua ocorrência.

É óbvio, entretanto, que qualquer uma das situações extremas, ou seja, só manutenção corretiva ou só preventiva, é desaconselhável: a primeira, por colocar a manutenção totalmente à mercê dos acontecimentos, gerando como consequência inevitável uma certa irracionalidade na administração dos recursos alocados à manutenção; a segunda, por exigir um investimento cujo retorno nem sempre é satisfatório e garantido, pois pode significar aplicação de recursos em áreas e equipamentos indistintamente. A MP deve, imperiosamente, ser seletiva para que seja econômica.

Sabe-se que um dos aspectos mais problemáticos, quando da implantação de um programa de MP, é a motivação da equipe técnica, por causa da falsa impressão de se estar realizando um trabalho pouco eficiente, cujos resultados não são percebidos imediatamente. A priorização de equipamentos busca, justamente, mostrar que o objetivo da manutenção é realizar inspeções importantes e necessárias, não ocorrendo, assim, desperdício de tempo em inspeções ineficientes, realizadas sala a sala ou peça a peça (Capuano & Koritko, 1996). A priorização, assim, direciona o objetivo da Estrutura de Engenharia Clínica -EEC - para que, ao invés de "tentar inspecionar tudo", busque "inspecionar o que é necessário inspecionar".

A seleção dos equipamentos no ambiente hospitalar, quando da realização de MP, é, desse modo, essencial ao bom andamento das atividades realizadas pela manutenção e a otimização dos recursos administrados pelo setor, tanto econômicos quanto humanos. A execução indiscriminada de inspeções preventivas dos equipamentos acarreta uma série de dificuldades ao setor, ainda mais considerando-se que a maioria das instituições de saúde, principalmente no Brasil, possuem uma quantidade limitada de técnicos em suas equipes de manutenção. Esta limitação exige que os procedimentos de MP sejam direcionados aos equipamentos que mais necessitam deste serviço, cuja seleção pode ser feita de acordo com vários critérios, os quais dependem dos objetivos estipulados pela gerência da EEC. Entre os critérios considerados para equipamentos médicos, incluem-se os seguintes:

- custos de manutenção;
- importância clínica;

- grau de utilização;
- localização na estrutura;
- risco oferecido;
- exigências de manutenção;
- recomendações do fabricante.

A maioria das técnicas utilizadas na priorização de equipamentos consideram o tipo do equipamento ou grupo de equipamentos que executam as mesmas funções. Outros métodos, porém, utilizam como aspecto determinante para a seletividade de equipamentos o fato de os esse fazerem parte ou estarem localizados em determinados setores do hospital considerados determinantes ao atendimento de pacientes, geralmente aqueles de suporte a vida. Estes procedimentos são conhecidos como *métodos de varredura* (Capuano & Koritko, 1996), que privilegiam os equipamentos dos centros cirúrgicos, UTI ou emergência, por exemplo. A escolha dos setores que terão preferência pode, porém, variar de acordo com a especialidade de cada entidade de saúde.

3.3.1 SISTEMAS DE PRIORIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS PARA MP

Convencidos da necessidade de selecionar equipamentos, em razão dos motivos citados, os responsáveis pela manutenção de EEM, de início, baseavam-se, sobretudo, no *feeling* da equipe técnica e no histórico de conserto dos equipamentos. Entretanto, com o desenvolvimento dos estudos,

principalmente nas últimas duas décadas, foram desenvolvidos métodos quantitativos que utilizam equações matemáticas, conforme parâmetros estabelecidos pelo responsável. Esses, segundo um escore, determinam quais os equipamentos que deverão sofrer a MP. Pelo menos um terço dos departamentos de engenharia clínica dos EUA adota algum tipo de priorização de equipamentos (Capuano & Koritko, 1996).

Em consequência, apresentam-se alguns desses sistemas, utilizados tanto aqui no Brasil como nos EUA e em outros países. Uma diferença essencial verificada entre tais métodos, comparando-se países do Primeiro com os de Terceiro Mundo, é a inclusão do fator *custo*, que possui grande importância nos países em desenvolvimento em razão da falta de recursos verificada em todas as áreas de suas economias. A constatação dessas diferenças é fundamental na implantação de sistemas desenvolvidos em outras realidades, sendo, portanto, imprescindível o bom senso e a adaptação dos conceitos segundo as possibilidades das entidades que adotam esses critérios.

3.3.1.1 Método de Hertz

A metodologia desenvolvida por Hetan Hertz (Hertz, 1990) prioriza equipamentos para a MP, considerando como critério básico a sobrecarga de trabalho existente. Este método foi, talvez, o primeiro a recomendar a priorização de equipamentos médicos para inspeções preventivas com base no nível de risco. Segundo ele, os equipamentos são

avaliados considerando-se a probabilidade de, ao serem usados, provocarem lesões ao paciente por estarem com algum tipo de falha .

A priorização ou classificação dos equipamentos neste método é feita, basicamente, pela avaliação de itens que apresentam a propensão de causar lesões ao paciente e que estão com a MP atrasada. O risco de causar lesão pode ser estimado, segundo Hertz, através das seguintes constatações:

- uma peça do equipamento está quebrada;
- o operador não percebe que o equipamento está quebrado;
- o equipamento está quebrado, é usado e, então, causa lesão.

Tomando por base a experiência do departamento e o julgamento profissional da equipe técnica, foram atribuídas probabilidades alta, média e baixa para cada evento citado, sendo atribuídos os valores para grupos de equipamentos que possuem características semelhantes. A Tabela 3-1 apresenta os valores atribuídos aos diferentes níveis para cada evento.

Tabela 3-1: Valores atribuídos de probabilidades relativas.

	Alto	Médio	Baixo
PR (quebra)	3	2	1
PR (notar)	1	2	3
PR (lesão)	3	2	1

A classificação dos equipamentos é efetuada pela multiplicação das probabilidades atribuídas, como mostra a Equação 3-1, que resulta no índice de gravidade do equipamento.

$$\text{Índice de gravidade} = \text{PR (quebrado)} \times \text{PR (notar)} \times \text{PR (lesão)}$$

Equação 3-1

Onde:

PR (quebrado) = a probabilidade relativa que o equipamento está quebrado, avaliado como alto, médio ou baixo;

PR (notar) = a probabilidade relativa que o operador do equipamento notará que o equipamento está quebrado antes de usá-lo, avaliado como alto, médio ou baixo;

PR (lesão) = a probabilidade relativa que o equipamento quebrado realmente causará uma lesão se é usado, avaliado como alto, médio ou baixo.

O índice de gravidade pode apresentar valores que variam entre 1 e 27, dependendo das probabilidades relativas atribuídas. O método de Hertz não se preocupa com a exatidão das probabilidades, mas, sim, em classificar os equipamentos de um hospital em grupos que estão mais sujeitos à possibilidade de causar uma lesão ao paciente/operador.

3.3.1.2 Método de Anderson

Este método foi desenvolvido por Jerome Anderson (Anderson, 1992) e é um dos pioneiros na utilização do fator de risco como forma de selecionar equipamentos para inspeções preventivas. Baseado no trabalho de

Hetan Hertz, este sistema faz uma estimativa numérica, pela classificação dos equipamentos em quatro níveis, do risco relativo que a ocorrência de uma falha de um equipamento pode acarretar ao paciente ou operador. Fatores adicionais, como necessidade de manutenção na prevenção de desgastes dos equipamentos, não são considerados neste esquema, a menos que uma falha catastrófica resulte em lesão ao paciente/operador. Esses códigos, ou níveis, são determinados através das respostas apresentadas às seguintes perguntas (Anderson, 1992):

- A falha deste item prejudicaria um paciente ou membro da equipe?
- Como a falha afetaria a qualidade dos cuidados médicos dos pacientes?
- Qual é a gravidade dos danos (se houver algum), resultado das falhas dos itens?

Código I - Refere-se aos equipamentos cujas falhas teriam alta probabilidade de causar lesões graves ou até a morte ao paciente/operador, bem como ao fato de que qualquer atraso na obtenção de um equipamento sobressalente, na eventualidade de falha do equipamento, levaria a um possível dano progressivo, irreversível, das condições do paciente. Neste grupo, incluem-se os equipamentos de apoio à vida e de ressuscitação.

Código II - Neste grupo, são relacionados os equipamentos caracterizados por causarem danos com pouca probabilidade de morte ao paciente, ou seja, tanto danos diretos como indiretos causados pelo

diagnóstico errôneo. Além disso, a substituição do equipamento por um sobressalente não causaria danos ao paciente.

Código III - Classificam-se nesta categoria equipamentos que podem causar apenas lesões insignificantes ao paciente/operador.

Código IV - É constituído por equipamentos que não apresentam risco algum ao paciente/operador, cuja falha acarreta como principal consequência apenas atrasos nos procedimentos.

3.3.1.3 Método de Bronzino/Moussavi

Este método, utilizado pelos dois autores, é baseado no trabalho de Fennigkoh. O sistema considera três fatores na elaboração da lista de equipamentos com prioridade: além do fator *risco*, incluem-se, *função* e *manutenção exigida pelo equipamento* (Fennigkoh, 1989 apud Moussavi & Whitmore, 1993).

A *função* do equipamento, usualmente, é classificada em quatro categorias: diagnóstico, análise, terapia e variado. A essas categorias são atribuídos valores que visam à quantificação do risco a que o paciente é exposto.

O fator *risco* físico considera as possíveis consequências que podem afetar o paciente/operador, quando da ocorrência de um mau funcionamento ou falha do equipamento.

Por último, o fator *manutenção* avalia a necessidade de manutenção requerida pelo equipamento, classificada em três grupos: extensiva, média e mínima.

O cômputo total dos fatores é feito pela soma dos escores atribuídos a cada aspecto, a qual resulta num valor máximo de 20 e num valor mínimo de 4, dependendo da combinação de cada fator dentro das suas categorias. O equipamento é incluído no programa de MP se a soma dos valores alcançar ou ultrapassar 12, salvo os casos de equipamentos que requerem a MP obrigatória de itens.

3.3.1.4 Sistema de Manutenção Orientado ao Risco - Romsys

O Romsys é um sistema de gerenciamento de equipamentos médicos dirigido a elementos baseados em risco, que prioriza as inspeções em equipamentos que mais necessitam dessas. Foi desenvolvido por Mike Capuano e Steve Koritko, do Departamento de Engenharia Biomédica do Hamilton Civic Hospital (Capuano & Koritko, 1996). O método é constituído de outros aspectos relativos à MP, tais como determinação da frequência de inspeção e ajuste deste intervalo, entre outros.

O nível de risco, neste sistema, é calculado a partir da avaliação de seis critérios, empregados na caracterização do nível de risco apresentado pelo equipamento, os quais são:

- função;
- conseqüências;

- manutenção;
- proteção;
- letabilidade;
- uso.

Entendendo-se pelo critério *função* a aplicação do equipamento em relação ao paciente, esta categoria considera desde a “não-relação com o cuidado ao paciente” até equipamentos de “suporte à vida”. *Conseqüência*, por sua vez, considera o efeito que um mau funcionamento teria sobre um paciente ou operador, variando de “sem conseqüência” à “morte” do paciente/operador. Pelo critério *manutenção*, avaliam-se todos os aspectos que afetam a necessidade de intervenção técnica. O item *proteção* determina os fatores relativos aos sistemas de prevenção de falhas contidos no equipamento, tais como alarmes, sistemas de autoverificação, entre outros. O fator *letabilidade* considera a possibilidade de saídas perigosas do equipamento e pode ser “direta”, “indireta” ou “nenhuma”. Por fim, o último aspecto avaliado é o que se refere ao *uso* do equipamento, apontando o quanto um equipamento é utilizado.

A determinação final do valor do nível de risco é conseguida através da soma de todos os valores atribuídos em cada categoria. Este procedimento deve ser realizado para cada equipamento separadamente, mesmo que sejam equipamentos que possuem a mesma função, devido à diferenciação existente entre as características de fabricação e, também, por ser o seu uso variável nos diferentes setores do hospital.

3.3.1.5 Método de Sánchez

Este método, assim como o de Romsys, utiliza como fator decisivo na escolha dos equipamentos que entrarão no programa de MP a quantificação do nível de risco apresentado por cada equipamento. As categorias avaliadas aqui são baseadas nas do Romsys (Capuano & Koritko, 1996), porém incluem-se outros critérios de avaliação.

Sánchez (Barrios, 1997), além dos critérios utilizados no Romsys, emprega, na determinação do nível de risco dos equipamentos na priorização para o programa de manutenção preventiva, as seguintes categorias:

- complexidade - é determinada a partir da avaliação da manutenção, do projeto e do grau de automação apresentado pelo equipamento; esta análise é executada por pessoal habilitado, geralmente um engenheiro clínico;
- regime de operação - esta categoria avalia, num determinado período de tempo, o tipo de funcionamento que determinado equipamento apresenta;
- condições de utilização - refere-se às condições necessárias ao funcionamento adequado do equipamento, bem como às condições adversas que prejudicam a sua funcionalidade;
- confiabilidade - é a probabilidade que tem o equipamento de operar durante um período de tempo sem apresentar qualquer tipo de falha funcional.

A determinação final do nível de risco, assim como no sistema Romsys, é realizada pela soma de todos os indicadores avaliados, para todos

os equipamentos individualmente. A escala de prioridades é constituída, assim, a partir do equipamento que apresentar maior escore, variando decrescentemente.

3.3.1.6 Método de Martins

O método de Martins (Martins, 1990) propõe a confecção de uma matriz de prioridades, em que são atribuídos índices que variam de 1 a 10 para cada critério. A priorização se dá na ordem decrescente dos valores apresentados pelos equipamentos, os quais refletem os critérios de cada equipamento individualmente. A avaliação dos equipamentos abrange os seguintes critérios (Martins, 1990):

- custo de manutenção corretiva - avalia o custo médio dos serviços de manutenção corretiva do equipamento em um determinado período de tempo;
- manutenabilidade - analisa a dificuldade na execução das tarefas de manutenção, obtida através do tempo médio de conserto do equipamento;
- não-confiabilidade - indica a probabilidade de ocorrência de uma falha num período especificado de tempo, sendo realizada através da determinação do número médio de falhas ocorridas entre um período especificado de tempo;
- grau de dependência - determina o grau de dependência de um conjunto de equipamentos pelo equipamento avaliado; a

dependência é verificada na utilização do equipamento em um procedimento médico correspondente;

- grau de utilização - aponta o percentual de horas que o equipamento fica em funcionamento durante o período de uma semana;
- não-existência de alternativas - procura determinar o grau de demanda do equipamento, isto é, avalia a possibilidade de um equipamento ser temporariamente substituído por outro, caso haja avaria;
- grau de urgência - é uma estimativa realizada pela direção do hospital, que determina a necessidade de um atendimento prioritário.

A determinação final da lista de equipamentos selecionados para o programa de MP é composta dos equipamentos apontados pelo método analítico, mostrado anteriormente, somada a consultas feitas a usuários, experiência técnica da equipe, intervalos obrigatórios estabelecidos pelo fabricante e histórico de falhas apresentado pelo equipamento.

3.3.2 ITENS OBRIGATÓRIOS

Certos tipos de equipamentos utilizados em hospitais e entidades de saúde exigem a troca de determinadas peças a cada determinado período de tempo (Capuano & Koritko, 1996). Estes itens não podem estar sujeitos a

intervalos de tempo maiores que aqueles preestabelecidos pelo fabricante ou entidades reguladoras, fato que poderia ocorrer caso se optasse pela priorização de equipamentos pelos métodos analíticos propostos. A partir disso, todos os procedimentos específicos devem ser desenvolvidos para que se assegure que os testes críticos e obrigatórios de determinados equipamentos sejam realizados (Bronzino, 1992).

A utilização de sistemas de priorização de equipamentos deve levar em conta, qualquer que seja o método utilizado, as considerações fornecidas pelo fabricante, bem como o conhecimento adquirido pela equipe técnica sobre o intervalo obrigatório de inspeções de equipamentos.

3.4 ESTOQUE DE PEÇAS SOBRESSALENTE

Outro aspecto importante na implantação de um programa de MP é a previsão anual de peças de reposição, que pode ser o responsável pelo sucesso ou fracasso do programa de MP. Isso porque a previsão inadequada de peças pode originar a falta de “matéria-prima” para as inspeções preventivas, o que causará atrasos significativos na execução dos serviços de reparo, como também resultará em altos custos, quando a previsão de estoques de peças for superdimensionada .

Um estoque de peças de reposição bem elaborado deve basear-se principalmente nas recomendações fornecidas pelo fabricante, sendo constituído por aquelas que devem ser substituídas a intervalos obrigatórios, e no histórico de conserto do equipamento, análise que aponta os itens que mais

falham num determinado equipamento (Martins, 1990). Além disso, o responsável pela administração da aquisição de material sobressalente deve procurar manter um nível ótimo de peças sobressalentes. A justificação das aquisições frente à alta direção pode ser feita com base na lista fornecida pelo fabricante e na lista anual de peças utilizadas durante um determinado período de tempo nos consertos realizados no equipamento (Morrow, 1982).

Essa verificação deve ser feita para cada equipamento separadamente, levando-se em conta características do projeto, histórico de falhas e programação periódica de substituição de peças. A aquisição antecipada visa oferecer as condições mínimas necessárias à implantação de procedimentos de manutenção preventiva.

3.5 MANUAL DE PROCEDIMENTOS PARA A MP

O manual é a documentação de todos os procedimentos e precauções que devem ser tomadas na realização da MP. Nele deve-se descrever de forma detalhada os métodos mais eficientes utilizados na realização das atividades exigidas pela MP, os recursos materiais e humanos, bem como o planejamento e a programação das atividades para cada tipo ou classe de equipamento orientado ao paciente usado nas entidades de saúde.

A elaboração do manual justifica-se pela necessidade de uniformização das tarefas executadas pela EEC (Martins, 1990), possibilitando, dessa forma, a comparação de resultados e posterior avaliação do programa, especialmente quando utilizado por diferentes membros da equipe.

O registro dos procedimentos adotados deve ser feito com base nas informações constantes nos manuais de operação e manutenção fornecidos pelo fabricante, além daquelas adquiridas pela equipe técnica em observações e acompanhamentos realizados quando da instalação dos equipamentos e da realização de procedimentos feitos no seu período de garantia (Martins, 1990).

A linguagem utilizada na escrita do manual deve ser de fácil compreensão pelo executor dos serviços; a utilização de fluxogramas, ilustrações e desenhos explicativos é recomendável para que as informações sejam rapidamente entendidas e prontamente executadas. Entre os itens que devem constar em um manual de MP, citam-se (Martins, 1990):

- dados de identificação do equipamento - referem-se a todas as informações que caracterizam o equipamento. O manual pode ser generalizado, sendo dividido em classes de equipamentos, desde que haja a identificação de procedimentos quando da utilização de modelos distintos. Exemplos de dados de identificação: nome do equipamento, marca e modelo;
- equipamentos e ferramentas necessárias - o executor do serviços deve se dirigir ao local da inspeção munido das ferramentas e equipamentos utilizados para a MP. Itens básicos para a realização de uma inspeção preventiva bem-sucedida incluem: multímetro, aspirador de pó portátil, medidor de corrente de fuga, adaptadores de saídas elétricas e de gases, além de um jogo de ferramentas básicas;

- equipamentos de proteção individual (EPI) - são os equipamentos indispensáveis à segurança e proteção do inspetor. Exemplos de EPI: máscaras antigases, dosímetros, luvas cirúrgicas, óculos de proteção, etc.;
- insumos básicos - representam a previsão de todos os materiais necessários utilizados na realização das tarefas, bem como peças de reposição que possuem tempo de vida útil limitado e previsível e que devem ser trocadas periodicamente. Exemplos: filtros de ar e de água, mangueiras, lâmpadas, fita isolante etc.;
- condições ambientais - determinam se os critérios preestabelecidos pelo fabricante para a instalação e operação normal do equipamento estão sendo atendidos. Tais critérios incluem: temperatura, umidade, proteção radiológica, entre outros;
- referências - apontam uma relação de fontes de consulta utilizadas na elaboração dos procedimentos, devendo ser consultadas em caso de necessidade de melhor esclarecimento;
- glossário - reúne uma lista dos termos utilizados na elaboração do manual que oferecem difícil compreensão ou dúvida interpretação, assim com o esclarecimento de siglas utilizadas.

3.6 INSPEÇÕES PREVENTIVAS

A determinação dos procedimentos realizados nas inspeções preventivas objetiva a orientação uniforme dos executores dos serviços da maneira mais eficiente possível. Para isso, deve-se contar com pessoal treinado e habilitado para a correta interpretação dos procedimentos, elaborados com base em informações fornecidas pelos fabricantes, nas diretrizes exigidas por entidades normatizadoras e fiscalizadoras nos EUA, como a Joint Commission Accreditation of Hospitals - JCAHO -, bem como na experiência adquirida pela equipe técnica pela observação dos procedimentos de instalação e inspeções realizadas durante o período de garantia do equipamento (Bronzino, 1992).

A execução das inspeções é baseada na determinação de procedimentos, tais como inspeção ou exame visual, limpeza, teste de segurança, teste de funcionalidade (Webster, 1979), calibração e ajuste (Bronzino, 1992). Estes procedimentos podem apresentar uma variação quanto à sua utilização, de acordo com o equipamento averiguado e o grau de itens inspecionados.

3.6.1 INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual é realizada para determinar se existe algum tipo de problema que pode ser detectado visualmente (Webster, 1979). Ela pode ser efetuada com o auxílio ou não de equipamentos, ou seja, a olho nu ou

utilizando dispositivos que facilitem ou ampliem a visão. Para isso, podem ser utilizados desde simples espelhos refletores, lentes até fibras ópticas.

Este método constitui um auxiliar poderoso em todas as atividades realizadas pela manutenção, pois o exame visual é o método mais antigo e, ainda, o mais utilizado em inspeções e na manutenção. É de fácil aplicação, pouco dispendioso e rápido, fornecendo um conjunto importante de informações (Nepomuceno, 1989).

O método pode ser aplicado em equipamentos médicos, tanto em procedimentos externos como nos internos, na verificação da existência de discontinuidades, tais como dobras, costuras, distorções físicas, *hardware* solto, falhas de pintura, sinais de eletricidade perigosa, sinais de desgaste anormal, conectores quebrados, isolação deteriorada, filtros sujos e outros problemas que podem causar mau funcionamento dos equipamentos. Todos esses fatores podem ser verificados facilmente pela inspeção visual, desde que o inspetor tenha o preparo e o conhecimento técnico necessário para tal.

3.6.2 LIMPEZA

A limpeza é um procedimento padrão em inspeções preventivas, podendo ser executada após ou durante a inspeção visual. Ela indica as partes do equipamento que devem ser limpas, bem como o método mais efetivo na execução dos procedimentos, além de indicar solventes e produtos de limpeza apropriados para serem usados no equipamento sem causar-lhe um possível

dano (Webster, 1979). A limpeza do equipamento, sempre que possível, deve incluir as suas partes internas e externas.

Os procedimentos considerados de execução mais simples são o exame visual e a limpeza; por isso, ambos devem estar incluídos nos procedimentos de manutenção de rotina, realizados pelo operador antes ou após a utilização do equipamento em procedimentos médicos. Tais procedimentos são de fundamental importância para o incremento da vida útil do equipamento, para a diminuição de reparos de emergência e aumento de eficiência dos serviços de manutenção; entretanto, a manutenção de rotina pode ser realizada somente após um período de treinamento adequado. A limpeza de equipamentos deve incluir aspectos gerais, tais como remoção de toda sujeira existente na parte externa da carcaça do equipamento; retirada de fiapos, poeira e qualquer outro tipo de sujeira do seu interior, especialmente em componentes eletrônicos; limpeza de resíduos acumulados, como sangue, óleo, sais, etc.

3.6.3 TESTE DE FUNCIONALIDADE

Testes funcionais devem ser realizados por pessoal qualificado e treinado por meio dos procedimentos encontrados no manual de operação fornecido pelo fabricante. O atendimento, pelo equipamento, dos requisitos exigidos nesta fase de testes garante a sua eficiência e calibração, assim como o funcionamento correto de todas as suas funções.

A frequência das inspeções e os itens atendidos por elas variam de acordo com o grau de prioridade apresentado pelo equipamento. A determinação da classificação dos equipamentos quanto à sua prioridade, em uma entidade de saúde, é responsabilidade direta do engenheiro clínico. Os testes de funcionalidade podem ser realizados até semanalmente e incluir uma função simplificada de procedimentos, para que se assegure a operacionalidade adequada do equipamento (Webster, 1979).

A realização de testes de funcionalidade é determinante, segundo normas internacionais e procedimentos fornecidos por fabricantes, após qualquer intervenção corretiva em um equipamento. Antes de disponibilizá-lo para o uso normal, precisa-se sempre comprovar o seu bom funcionamento e a adaptabilidade das peças usadas no conserto (Esperança, 1997).

3.6.4 TESTE DE SEGURANÇA

Todos os tipos de dispositivos de segurança e alarmes que integram os equipamentos devem ser testados periodicamente, de acordo com as normas de entidades fiscalizadoras e normalizadoras. Os testes mais freqüentemente utilizados em equipamentos eletromédicos são o teste de corrente de fuga e o de integridade do terra da carcaça do equipamento (Webster, 1979).

Os procedimentos que descrevem os testes de segurança utilizados para cada equipamento devem abranger uma lista de pontos a serem testados, o procedimento adequado para a obtenção da medição

requerida, bem como a variação tolerada do valor do mensurando. Os procedimentos são divididos, basicamente, em duas categorias: uma bateria de testes menor e outra maior, utilizadas de acordo com a disponibilidade, a frequência dos testes e as prescrições para o equipamento. Outro critério que deve ser adotado é a realização de procedimentos específicos após a efetivação de reparos ou substituição de peças.

3.6.5 CALIBRAÇÃO/AJUSTE

Os procedimentos que constituem este item descrevem o processo de calibração das partes do equipamento em que é preciso verificar a sua operacionalidade e desempenho e se está dentro do razoável e dos limites previamente especificados. Entende-se por *calibração* o conjunto de operações que estabelece, sob condições específicas de cada equipamento, a relação entre os valores indicados por este e os valores correspondentes estabelecidos por padrões (Inmetro, 1995). O resultado da calibração pode apresentar o valor da variável medida e o estabelecimento das correções necessárias (Inmetro, 1995 apud Beskow, 1997).

Os procedimentos utilizados para a operação destinada a recolocar um item dentro de uma faixa aceitável dos parâmetros avaliados, cujos ajustes são realizados pelo usuário, denomina-se *regulagem* (Inmetro, 1995). Já o *ajuste* constitui procedimento realizado por pessoal qualificado, o qual corrige determinados parâmetros de acordo com o erro verificado e mediante a calibração de tais parâmetros.

3.6.6 NÍVEL DE INSPEÇÃO

As operações realizadas em inspeções preventivas de EEM apresentam níveis variáveis de profundidade, podendo ser divididas em dois tipos: simplificadas e completas. Tal divisão é feita porque, embora a MP deva ser realizada da maneira mais completa possível, isso não significa que tenha que ser realizada na íntegra em *todas* as inspeções.

A inspeção simplificada consiste na realização de procedimentos mais genéricos e de fácil aplicação, diferentemente da inspeção completa, sendo, por isso, realizada em períodos mais curtos de tempo; pode ser realizada trimestralmente, mensalmente ou até semanalmente, se assim o equipamento exigir. O nível mais elementar de manutenção preventiva que pode ser realizado é o da manutenção de rotina, realizada diariamente pelo operador, que consiste em operações simplificadas, de fácil entendimento e execução.

A inspeção completa, por sua vez, consiste em procedimentos de MP que envolvam o máximo de itens possíveis a serem examinados e ensaiados. Nela são realizados os mesmos procedimentos da simplificada e outros mais apurados, que exijam uma demanda maior de tempo. Por tais motivos, os equipamentos envolvidos por esse nível são averiguados semestral ou anualmente.

3.6.7 FORMA DE ATUAÇÃO

Na realização das tarefas necessárias pela MP, a equipe técnica dispõe, basicamente, de duas estratégias de atuação, ou seja, a MP de cada equipamento pode ser realizada *in loco* ou na oficina de manutenção localizada no mesmo setor.

A realização da MP *in loco* exige o deslocamento do executor até o local onde o equipamento designado está localizado. Esta é a forma de atuação comumente utilizada em entidades de saúde por permitir um melhor aproveitamento do tempo em que o equipamento permanece indisponível ao uso, ou em razão de o tamanho do equipamento exigir tal ação; ainda, minimiza o tempo ocioso por dispensar a sua retirada e posterior deslocamento até a oficina.

Para um melhor aproveitamento das vantagens desse sistema, sugere-se a criação de uma unidade móvel de manutenção, capaz de ser facilmente deslocada para os vários setores do hospital. A unidade móvel deve dispor de todos os materiais, equipamentos e documentação necessários à realização das tarefas, tal como citado anteriormente no item Manual de Procedimentos de MP.

Por outro lado, a inconveniência de se utilizar este método está na possível interferência na rotina clínica do hospital, tendo em vista a realização dos serviços no próprio setor onde o equipamento permanece alocado.

O método mais conhecido e utilizado em inspeções preventivas pelo setor de manutenção em hospitais é aquele em que o equipamento é transportado do setor onde é utilizado para o setor de manutenção. Este sistema oferece melhores condições no que se refere à infra-estrutura disponível para a realização dos serviços, além de não afetar a rotina do hospital. Em contrapartida, o transporte do equipamento até a oficina demanda uma quantidade de tempo significativamente maior, durante o qual o equipamento permanece inoperante. Isso pode ser agravado se o procedimento de disponibilização do equipamento para a manutenção é moroso ou ineficiente.

3.7 FREQUÊNCIA DE INSPEÇÃO

Tão importante quanto a priorização de equipamentos na otimização dos recursos envolvidos, o estabelecimento da frequência com que os equipamentos são inspecionados é primordial na elaboração de um programa de MP eficiente. A frequência das inspeções, geralmente, baseia-se nas recomendações ou informações apresentadas pelos manuais dos fabricantes, na experiência técnica da equipe, no histórico do equipamento e na troca de informações entre instituições de saúde que já realizam inspeções periódicas em equipamentos iguais ou similares (Webster, 1979). Os fatores que conduzem a frequência das inspeções podem ser, além do nível de risco oferecido ao paciente, a aplicação clínica, exigências de manutenção, recomendações do fabricante, custo do equipamento parado e custo do serviço de manutenção (Bronzino, 1992).

Segundo Hertz, o intervalo entre uma inspeção e outra deve se basear no nível de desempenho dos equipamentos, a ser estipulado pela diretoria do hospital, ou seja, o percentual de consertos que são realizados durante as inspeções preventivas determina o prolongamento ou encurtamento do período de inspeção (Hertz, 1990).

A metodologia utilizada no Sistema de Manutenção Orientada ao Risco - Romsys - considera, para a determinação do período de inspeção, a necessidade da realização de reparo durante a inspeção preventiva (Capuano & Koritko, 1996). Este sistema emprega uma taxa de amostragem de três inspeções, ou seja, a cada três inspeções, é feita a análise de cada equipamento, individualmente, calculando-se, ao final, o percentual de reparos realizados durante as inspeções. Se o percentual for igual a 100%, o período de inspeção é diminuído; em oposição, se o percentual de MP com conserto é igual a zero, o período das inspeções é aumentado. O incremento/decremento fornecido ao período é um valor fixo e igual a três meses.

O equilíbrio absoluto do intervalo de inspeção é alcançado somente se, após a realização de três amostragens, o intervalo não sofrer qualquer modificação (Capuano & Koritko, 1996). A alteração dos intervalos é realizada individualmente em virtude da possível sobrecarga de trabalho estabelecida no caso de os ajustes serem realizados por classes de equipamentos (Capuano & Koritko, 1996).

A referência Kendall (Kendall, 1993) sugere a aplicação de intervalos de MP flexíveis, baseados no tempo real em que se utiliza o histórico de reparo do equipamento mais recente para a determinação da frequência da MP. Esta é realizada em equipamentos que apresentaram a necessidade de

manutenção corretiva durante as inspeções; aqueles em que isso não é reconhecido, o intervalo de MP é aumentado.

Quatro critérios, entretanto, devem ser utilizados para direcionar este método apenas aos equipamentos cuja flexibilização dos intervalos de inspeção não incrementem o nível de risco a que se submete o paciente. São eles:

- equipamento de suporte direto à vida;
- equipamento com substituição periódica e obrigatória de peças;
- equipamento que fornece altos níveis de energia;
- equipamento com intervalo de manutenção normatizado.

De qualquer maneira, após determinado período necessário à confirmação dos resultados, o intervalo é modificado de acordo com as exigências, uma vez que, se inspeções preventivas são “desperdiçadas”, ou realizadas muito freqüentemente, isso implica tempo e dinheiro desperdiçados, tornando o programa de MP ineficiente (Webster, 1979). A partir disso, avaliações de desempenho da MP devem ser realizadas com freqüência, no mínimo, anual. Uma maneira de avaliar a eficiência da MP realizada é mostrada na Tabela 3-2 (Webster, 1979).

Os intervalos de inspeção são considerados seguros e em equilíbrio, tornando-se fixos após a verificação de taxas de conserto em inspeções preventivas constantes durante um período de dois ou três anos.

Tabela 3-2: Critérios de avaliação da eficiência da MP.

MUITO ALTA	EFETIVA	MUITO BAIXA
Equipamentos sempre calibrados. Sem necessidade de mudanças.	Equipamento levemente fora da calibração, porém sem afetar a sua operação.	Sempre descalibrado. Equipamento fornece resultados errôneos.
Equipamento não requer limpeza; ajustes ou lubrificação.	Necessita de alguma limpeza; lubrificação necessária à operação adequada; alguns ajustes.	Filtros sujos que impedem o bom fluxo de ar; sinais de desgaste devido à má lubrificação; parafusos e botões frouxos.
	Nenhuma reclamação recebida sobre a operação do equipamento.	Reclamações freqüentes sobre o desempenho do equipamento.
	Reparos menos freqüentes.	Freqüência de reparos igual ou maior que antes.

3.8 TEMPO-PADRÃO

Para se traçar uma rotina de manutenção preventiva, é necessário que se tenha, pelo menos, uma estimativa aproximada da duração de cada serviço. Este tempo, conhecido como *tempo-padrão*, é uma ferramenta importante utilizada na avaliação do desempenho e eficiência da equipe técnica e consiste na comparação do tempo estimado (tempo-padrão) com o tempo real gasto na realização da inspeção.

Em outras palavras, o tempo-padrão é o tempo que se gasta na realização de um trabalho específico de manutenção, o qual pode ser calculado a partir da soma de todos os tempos gastos nas diversas etapas que envolvem a manutenção de um determinado equipamento, tais como

deslocamento do pessoal até o local da ocorrência, montagem e desmontagem do equipamento, trocas de peças, lubrificação, limpeza, ajustes etc.

Os tempos-padrão podem ser usados como valores normatizados de manutenção que contribuem para (Morrow, 1982):

- planejamento e programação do trabalho de manutenção;
- dimensionamento da equipe técnica;
- medição do rendimento ou efetividade das equipes de manutenção;
- incentivo para o pessoal da equipe de manutenção.

Os valores-padrão para todas as tarefas de manutenção, exceto os trabalhos estimados, são determinados por meio de análises estatísticas do resultado dos trabalhos durante um período-base, normalmente de seis meses (Morrow, 1982).

3.9 DIMENSIONAMENTO DA EQUIPE TÉCNICA

A determinação da equipe em estruturas de engenharia clínica de hospitais, é bastante crítica quando do estabelecimento de um programa de MP. A configuração da equipe possui diversas variáveis, que dependem do tamanho do hospital, da complexidade dos equipamentos utilizados e do tipo de hospital. A dificuldade na formação da equipe aumenta à medida que os seus componentes não possuam experiência e treinamento adequado na manutenção dos equipamentos (Simmons & Wear, 1988).

De modo geral, uma estrutura de engenharia clínica pode apresentar uma equipe que conte com as seguintes categorias: engenheiro, diferentes níveis de técnicos, artífices e pessoal de limpeza. A Tabela 3-3 apresenta uma possível configuração que pode ser empregada na sua formação, variável segundo o número de leitos do hospital (Simmons & Wear, 1988).

Tabela 3-3: Dimensionamento da equipe técnica de acordo com o n° de leitos.

N° de Leitos	Técnico Jr.	Técnico	Engenheiro Clínico	Secretário
até 25	*			
25 - 50	*	*		
51 - 75	*	*	*	
76 - 100	*	1	*	1/4
101 - 150	1	1	*	1/4
151 - 200	1	1	*	1/2
201 - 250	1	2	*	1/2
251 - 300	1	2	1	1
301 - 350	1	2	1	1
351 - 400	1	2	1	1
401 - 450	1	3	1	1
451 - 500	2	3	1	1
501 - 600	2	3	1	1
601 - 700	3	3	1	1
701 - 800	3	4	2	1
801 - 900	3	4	2	2
901 - 1000	3	5	2	2

* Participação de serviços externos, peritos, ou serviços contratados de fabricantes

O modelo de Irnich para a determinação dos componentes necessários à formação de uma equipe técnica eficiente sugere a aplicação de determinados critérios, representados na Equação 3-2 (Irnich, 1989 apud Lamberti, 1997).

$$N_T = \sum_{i=1}^3 \frac{T_i \cdot R_i}{E_i \cdot WH_T} \quad \text{Equação 3-2}$$

onde:

N_T = nº de técnicos necessários;

T_i = nº total anual de horas exigidas para a manutenção do equipamento para a categoria i ;

R_i = fração do trabalho realizado pelo serviço no hospital dos equipamentos da categoria i ;

E_i = coeficiente de eficiência para a categoria i ;

WH_T = carga horária anual do técnico.

A determinação do número de engenheiros clínicos/biomédicos é baseada no valor obtido pela equação, ou seja, para cada cinco ou seis técnicos, é necessária a presença de um engenheiro. Para o estabelecimento completo da equipe, os técnicos que tratam da parte administrativa são calculados segundo um percentual de 40% dos técnicos da equipe.

O modelo de Frize estabelece a determinação da equipe a partir do valor de revenda dos equipamentos existentes no hospital. Este método adota os seguintes critérios (Frize, 1990 apud Lamberti, 1997):

- um técnico para cada US\$1-1.5 milhões do valor de revenda dos equipamentos ou para cada 400 peças;
- um engenheiro para cada 3-5 técnicos;
- um técnico-chefe para cada 8-12 técnicos;
- um secretário para cada 8-10 técnicos e engenheiros;
- depósito, 1% do valor de revenda dos equipamentos;
- equipamentos de teste, 1% do valor de revenda dos equipamentos;
- espaço físico, 25 m² por pessoa.

Com base nesses critérios, Lamberti propõe a soma dos dois métodos citados (Irnich, 1989, Frize, 1990 apud Lamberti, et al., 1997), utilizando como parâmetro decisório o número de peças dos equipamentos biomédicos, ou o seu valor de revenda, e a relação formada pela carga de trabalho anual ($WL_{E/T}$), dividida pela carga horária anual ($WH_{E/T}$), ou seja, o tempo gasto na realização dos serviços dividido pelo tempo disponível. Esta expressão é empregada tanto no cálculo do técnico como do engenheiro, como mostra a Equação 3-3 (Lamberti, 1997).

$$N_{E/T} = \frac{WL_{E/T}}{WH_{E/T}} \quad \text{Equação 3-3}$$

O número de técnicos administrativos é calculado pela relação um secretário para cada oito componentes da equipe, constituída de engenheiros mais técnicos (Lamberti, 1997).

3.10 MANUTENÇÃO DE ROTINA

Os conceitos empregados pela MP são informações que, ainda hoje, não são conhecidas por muitos. Mesmo entre os que conhecem essas idéias na área da saúde, atribui-se a realização de ações preventivas, apenas, ao técnico de manutenção, que seria treinado, qualificado e habilitado para a realização desses serviços. Isso constitui somente parte do ideal, pois a realização de ações preventivas deve incluir não somente o pessoal da manutenção, mas também os operadores/usuários dos equipamentos, em procedimentos que constituem a Manutenção de Rotina do Usuário (Martins, 1990).

A manutenção de rotina do usuário estabelece procedimentos preventivos realizados pelo operador/usuário do equipamento com a finalidade de diminuir o número de paralisações e de aumentar a vida útil dos equipamentos, sem prejuízo da produtividade. A realização desse tipo de manutenção inclui tarefas fáceis e rápidas e pequenos cuidados, tais como limpeza, inspeção visual e lubrificações com frequência variável, dependendo das necessidades percebidas pelo usuário, o que pode ser feito antes ou depois da utilização do equipamento.

Para que os usuários tenham condições de realizar esses procedimentos, o engenheiro clínico responsável pelo equipamento deve promover a conscientização sobre a importância desses cuidados, bem como proporcionar um adequado treinamento àqueles para sua qualificação nesse sentido.

3.11 PLANEJAMENTO/EXECUÇÃO

A estrutura hierárquica da equipe técnica deve ser bem definida e distribuída de acordo com o tamanho, tipo e características do hospital. Atendendo a essas condições, a estrutura básica de um departamento de engenharia clínica, supondo um hospital de porte médio (250-300 leitos), é formada por um engenheiro e alguns técnicos (Simmons & Wear, 1988). Para a implantação do programa de MP, é importante que sejam estabelecidas, de maneira clara, as responsabilidades de cada membro (Simmons & Wear, 1988; Martins, 1990). Portanto, é responsabilidade do:

Engenheiro Clínico

- o apoio técnico e administrativo;
- o planejamento e a definição dos critérios de priorização dos EEM do hospital;
- o estabelecimento do cronograma da MP, de acordo com a carga horária, para um período de um ano;
- o contato com os setores do hospital de modo que a programação da MP seja respeitada;
- a identificação dos responsáveis pela liberação dos equipamentos para a MP em cada departamento;
- a determinação da frequência das inspeções preventivas dos equipamentos;
- a estruturação da política de atuação para a MP (*in loco*/na manutenção);

- a coordenação do programa de treinamento de usuários para o estabelecimento da manutenção de rotina;
- a fiscalização da emissão e execução das ordens de serviço, bem como a permissão de sua flexibilização quando necessário;
- o estabelecimento de um estoque anual de peças sobressalentes;
- o controle do bom andamento da MP e da manutenção corretiva, para que não haja sobrecarga de trabalho;
- a manutenção e o aprimoramento da qualificação da equipe técnica pela viabilização de treinamentos.

Técnico

- a execução dos serviços de MP de acordo com o estabelecido pelo manual de MP, seguindo as ordens de serviço;
- a informação ao engenheiro sobre qualquer impossibilidade de realização dos procedimentos;
- a condução das tarefas com segurança e responsabilidade.

3.12 REGISTRO DA MP

Outro aspecto de fundamental importância na obtenção de um programa de MP efetivo e de qualidade é o correto registro das atividades da manutenção preventiva, visto que o histórico de falhas e procedimentos

realizados para cada equipamento constitui uma fonte rica de informações necessárias à determinação de vários aspectos do programa de manutenção preventiva, tais como priorização, tempos-padrão, frequência de inspeção e o estabelecimento de peças sobressalentes. Isso somente é conseguido se houver correto preenchimento das ordens de serviço e escolha adequada dos itens a serem registrados. Além disso, registros são necessários à determinação da confiabilidade do equipamento e dos custos de operação intrínsecos dos serviços.

Segundo a JCAHO, “os registros devem ser mantidos com o propósito de informar os casos de inspeção e manutenção, bem como o estado de todo o equipamento incluindo a necessidade de substituição e a notificação individual desta necessidade” (JCAHO, 1976 apud Webster, 1979). Os registros constituem, ainda, uma parte importante das atividades do departamento de engenharia clínica, pois, mais do que apresentar informações precisas sobre a situação atual dos equipamentos, eles fornecem dados sobre serviços exigidos, peças trocadas e problemas já identificados no equipamento. Além disso, os registros são documentos que comprovam a realização de parte das atividades desenvolvidas pelo departamento referentes à manutenção do equipamento; é uma documentação que pode ser utilizada como resguardo da responsabilidade em casos em que acidentes são atribuídos à imprudência ou à falta de cuidados do setor de engenharia clínica.

Outra aplicação direta dos registros de manutenção, tanto corretiva como preventiva, onde o seu emprego é fundamental, é na obtenção de indicadores de qualidade das atividades do departamento. Na MP, existem, basicamente, três aspectos que podem ser avaliados com relação ao cuidado

do paciente, sendo eles *disponibilidade, eficiência e segurança do tratamento* (Russell, 1992). Por outro lado, outros indicadores podem ser estabelecidos com base nos registros para a avaliação da qualidade do programa de MP, tais como cumprimento do programa, inspeções não completadas, inspeções atrasadas, impossibilidade de realização da MP em virtude de o equipamento estar em uso, tempo em que o equipamento permanece parado, etc. (AAMI, 1990 apud Capuano & Koritko, 1996).

Os dados que constituem um registro de MP podem variar de acordo com o tipo de informação que se deseja obter. Entretanto, as informações exigidas podem estar contidas em quatro categorias genéricas, mostradas na Tabela 3-4. São elas: *identificação do equipamento, datas, custos e informações descritivas* (Webster, 1979).

Tabela 3-4: Informações essenciais para o registro de equipamentos.

Identificação do Equipamento	Data	Custo	Informações Descritivas
Descrição	Data de emissão da ordem de compra	Custos iniciais	Descrição das falhas e decisão tomada
Nº do Modelo	Data de inspeção de aceitação	Custos de reparo (peças e mão-de-obra)	
Nº de Série	MP programada	Custos para MP (peças e mão-de-obra)	Comentários incomuns por usuário - elogios ou reclamações
Nº do Patrimônio	MP realizada		
Fabricante	Data de garantia	Custos de melhoria	
Local de Origem	Datas de falha e reparo		Peças necessárias para reparo
Lista de Acessórios	Data de remoção de operação		

4. CARACTERIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS EM EEM

4.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Este capítulo tem como principal objetivo enquadrar os diversos aspectos que envolvem a seleção, programação e execução da manutenção preventiva para equipamentos eletromédicos, conforme apresentado no capítulo 3 deste trabalho. Tais procedimentos, que incluem a priorização dos equipamentos, substituição obrigatória de peças, definição dos equipamentos, ferramentas e materiais necessários à prática da manutenção preventiva, entre outros, serão aplicados apenas a determinados EEM pertencentes ao parque tecnológico do Hospital Universitário, selecionados a partir da disponibilização dos dados necessários à sistematização de tais informações.

4.2 PRIORIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

A seleção de equipamentos eletromédicos para a realização da manutenção preventiva constitui um dos aspectos mais importantes na implantação de um programa de MP, por direcionar a aplicação de recursos àqueles que, efetivamente, necessitam desses cuidados. Nesse sentido, a caracterização da aplicação desses recursos no Hospital Universitário foi feita por meio de um levantamento, o qual apontou que apenas 10% das classes de

EEM atendidas pelo NEC, durante a gestão do GPEB, recebiam algum tipo de cuidado de caráter preventivo e, mesmo nesses, sem qualquer preocupação metodológica.

Para a aplicação de critérios de priorização de equipamentos para a manutenção preventiva, foi utilizado o método de Sánchez. Tal proposta determina a seleção de equipamentos eletromédicos com base no nível de risco que esses equipamentos oferecem tanto para pacientes como para operadores (Barrios, 1997). Segundo os critérios adotados por esse método, a partir da atribuição de valores para cada item avaliado, obteve-se a classificação decrescente dos EEM, conforme apresentado na Tabela 4-1. A análise dos resultados obtidos evidenciou a necessidade do redirecionamento dos recursos aplicados à manutenção e do emprego de técnicas e metodologias de manutenção preventiva.

Nesse sentido, na seleção dos equipamentos eletromédicos do HU, esses foram divididos em três níveis distintos - alto, médio e baixo. Com base nisso, os equipamentos selecionados para a caracterização dos procedimentos de MP foram: ventilador pulmonar, desfibrilador, cardioversor, bisturi elétrico e o eletrocardiógrafo. O procedimento utilizado na avaliação dos critérios para a seleção dos equipamentos é semelhante ao utilizado para o ventilador pulmonar, mostrado na Tabela 4-2. O resultado da avaliação para todos os EEM constitui a classificação final apresentada na Tabela 4-3.

É importante ressaltar, ainda, que os procedimentos materiais variam conforme o fabricante ou, mesmo, entre os diferentes modelos oferecidos pelo mesmo fabricante.

Tabela 4-1: Listagem dos EEM que recebem e que deveriam receber MP.

Equipamentos que recebem Manutenção Preventiva no HU	Priorização dos Equipamentos que deveriam receber Manutenção Preventiva
Desfibrilador-Cardioversor Incubadora Unidade de Fototerapia Analisador Bioquímico Broncofibroscópio Endoscópio Colonoscópio Espectroscópio Gastrofibroscópio	Ventilador Pulmonar Máquina de Hemodiálise Aparelho de Anestesia Bomba de Infusão Desfibrilador- Cardioversor Bisturi Elétrico Angioscópio Incubadora Laringoscópio Aparelho de Raios-X Aspirador Cirúrgico Unidade de Fototerapia Eletrocardiógrafo Monitor Multiparâmetros Eletroencefalógrafo Oxicapnógrafo Gama-Câmera Microscópio Cirúrgico Aparelho de Ultra-som Analisador Pulmonar Monitor de Pressão Não-Invasiva Oxímetro de Pulso

4.3 VENTILADOR PULMONAR

Esta classe de equipamentos, fundamental à qualquer instituição de saúde que ofereça um departamento de emergência ou de cuidados intensivos, foi, segundo as classes de equipamentos avaliados, a que obteve o mais alto nível de prioridade, cuja soma dos valores a ela atribuídos alcançou 77. Isso vem a comprovar a falta de critérios na utilização dos recursos disponíveis pelo HU, pela não-figuração dessa classe entre os equipamentos

que recebiam cuidados preventivos. O escore final apresentado por esse equipamento (77) foi obtido segundo os critérios apresentados na Tabela 4-2.

Tabela 4-2: Critérios de priorização de EEM aplicados ao ventilador pulmonar.

VENTILADOR PULMONAR			
I - Razão de Risco		VI - Razão de Proteção	
classe III	12	sem alarmes paciente	1
classe IIb	7	sem alarmes funcionais	1
classe IIa	5	ñ são audíveis visíveis	1
classe I	3	ñ mensagens de erro	1
II - Razão de Conseqüência		ñ têm check contínuo	1
morte	12	ñ têm sistem. segurança	1
danos	6	ñ exige total atenção	1
incomodidade	2	ñ têm autocheck inicial	1
tratamento demorado	1	ñ têm autocheck manual	1
não existem	0	Total	1
III - Razão de Manutenção		VII - Razão de Mortalidade	
ajustes eletrônicos	1	direto	5
ajustes mecânicos	1	indireto	3
partes móveis	1	nenhum	0
troca de peças	1	VIII - Razão de Uso	
requer intervenção significativa	1	frequente	5
limpeza regular	1	esporádico	3
Total x 2	12	nunca	0
IV - Complexidade		IX - Condições de Utilização	
alta	10	rígidas	10
média	5	ligeiras	5
baixa	3	nenhuma	0
V - Regime de Operação		X - Operatividade	
contínuo	10	baixa	5
intermitente	5	alta	0
não contínuo	3		
Índice de Prioridade = 12 + 12 + 12 + 1 + 5 + 5 + 5 + 10 + 10 + 5 = 77			

Tabela 4-3: Discriminação dos valores atribuídos aos critérios de avaliação.

Nome	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Total
Ventilador Pulmonar	12	12	12	1	5	5	5	10	10	5	77
Máquina de Hemodiálise	12	12	10	1	5	3	10	5	10	5	73
Aparelho de Anestesia	12	12	12	0	5	5	10	5	10	0	71
Bomba de Infusão	12	12	10	3	5	5	5	5	5	0	62
Desfibrilador- Cardioversor	12	12	8	2	5	5	5	3	5	0	57
Bisturi Elétrico	12	6	6	1	5	5	5	5	5	5	55
Angioscópio	12	1	12	2	5	3	10	5	10	0	55
Incubadora	7	6	6	9	5	3	5	10	0	0	51
Laringoscópio	5	1	10	8	3	3	5	5	10	0	50
Aparelho de Raios-X	7	1	12	4	3	3	5	5	10	0	50
Aspirador Cirúrgico	3	6	6	8	3	5	3	5	5	0	44
Unidade de Fototerapia	3	6	6	9	5	0	3	10	0	0	42
Eletrocardiógrafo	3	1	10	6	5	3	5	5	0	0	38
Monitor Multiparâmetros	3	1	10	5	3	0	5	10	0	0	37
Eletroencefalógrafo	3	1	10	6	3	5	3	5	0	0	36
Oxicapnógrafo	3	1	10	2	3	0	5	10	0	0	34
Gama-Câmera	3	1	4	6	3	3	10	3	0	0	33
Microscópio Cirúrgico	3	1	10	8	0	3	3	5	0	0	33
Aparelho de Ultra-som	3	1	4	6	3	3	10	3	0	0	31
Analizador Pulmonar	3	0	8	8	0	3	5	3	0	0	30
Monitor de Pressão Não-Invasiva	3	1	2	5	0	3	5	10	0	0	29
Oxímetro de Pulso	3	1	0	0	0	3	5	10	0	0	22

4.3.1 MATERIAIS NECESSÁRIOS

Segundo as referências (Simmons & Wear, 1988; WHO, 1994), os equipamentos, materiais e ferramentas necessários para a realização das tarefas de manutenção preventiva de ventiladores pulmonares, os insumos básicos que garantem a realização dos serviços de prevenção de falhas em equipamentos eletromédicos (WHO, 1994), bem como as peças de reposição para a formação de um estoque anual recomendadas pelo fabricante (Bennett, 1974), são os elementos mostrados no Anexo A.

4.3.2 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Os procedimentos de manutenção preventiva e a frequência das inspeções, bem como o tempo estimado para a sua realização, envolvendo procedimentos de limpeza, inspeção visual, testes de segurança e funcionalidade, constituem as seguintes etapas (AHA, 1982; Esperança, 1996):

Frequência de inspeção: Semestral.

Tempo estimado de mão-de-obra: 1 hora/homem.

Procedimentos:

- 1- limpar o interior e o exterior da unidade e inspecionar componentes soltos ou danificados; verificar as condições físicas de todos os controles e o manômetro;
- 2- verificar a limpeza da válvula expiratória, inspecionar as condições do diafragma, substituí-lo se necessário;
- 3- inspecionar as condições dos tubos de respiração, nebulizadores e outros acessórios conectados ao paciente e à unidade;
- 4- procurar vazamentos em todas as mangueiras, tubos e encaixes;
- 5- inspecionar todos os filtros e seus compartimentos; limpar como recomendado pelo fabricante;
- 6- verificar a operação da unidade através de uma fonte de oxigênio externa;

- 7- analisar o regulador de pressão, o temporizador expiratório, o temporizador manual, o controle de sensibilidade, o controle da taxa de fluxo, o controle de pressão e o acelerador de fluxo;
- 8- verificar se a unidade está ciclando corretamente; verificar a pressão adequada e a taxa de fluxo;
- 9- analisar se a operação do manômetro está adequada e precisa; recalibrar se necessário.

4.3.3 MANUTENÇÃO DE ROTINA

Os cuidados básicos de prevenção de defeitos, efetuados pelo operador desse equipamento eletromédico, envolvem os seguintes aspectos (Bennett, 1974; Esperança, 1996):

- limpar o exterior da unidade e das válvulas;
 - verificar sons ou movimentos anormais;
 - verificar se existem mangueiras e conexões estragadas ou vazando;
 - comparar a medição do termômetro do equipamento com outro de calibração conhecida;
 - verificar se o sistema de alarme está fraco ou falho;
 - verificar as lâmpadas do painel quando executado o autoteste.
- a cada 200 horas
- lavar o filtro da ventoinha de refrigeração com água morna e detergente;

a cada 500 horas

- lavar o filtro de entrada de ar e o filtro do oxigênio.

4.4 DESFIBRILADOR/CARDIOVERSOR

O desfibrilador/cardioversor apresenta um escore igual a 57, resultado da avaliação (Lucatelli, 1997), o qual o coloca em um nível médio de prioridade, dentre os equipamentos avaliados.

4.4.1 MATERIAIS NECESSÁRIOS

Os equipamentos, materiais e ferramentas que são necessários para a realização dos trabalhos de manutenção preventiva em desfibriladores/cardioversores, segundo as referências (Simmons & Wear, 1988; Hellige, 1995), e os materiais de consumo necessários para a realização dos serviços de prevenção de falhas (Domingos, 1997), são mostrados no Anexo B.

4.4.2 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A realização dos procedimentos de manutenção preventiva para desfibriladores/cardioversores constitui etapas que envolvem os seguintes aspectos (AHA, 1982; Domingos, 1997):

Frequência de inspeção: Trimestral.

Tempo estimado de mão-de-obra: 1,0 a 1,5 hora/homem.

Procedimentos:

- 1- observar danos aparentes, aspecto geral e limpeza;
- 2- verificar as condições físicas do cabo e conector de força;
- 3- inspecionar as condições físicas das pás e cabos do desfibrilador, limpar quando necessário;
- 4- inspecionar a integridade mecânica de todas as chaves, controles, conectores, medidores, etc.;
- 5- verificar a operação da unidade; medir a energia entregue em 50, 100, 200, 300, 400 e no máximo ajuste em joules;
- 6- inspecionar as condições do capacitor, carregando a unidade no ajuste máximo e mantendo a carga por um minuto; verificar se a unidade mantém, aproximadamente, 80% da carga máxima após 1 minuto;
- 7- inspecionar as condições da bateria; carregar e descarregar, rapidamente, a unidade dez vezes na regulagem máxima; verificar se a unidade carrega num período de tempo razoável;
- 8- testar o desempenho operacional do sincronizador;
- 9- inspecionar o traço da tela; ajustar a intensidade, a posição, a amplitude, etc.;
- 10-inspecionar o registrador gráfico; verificar a condição do estilo de pressão e calor e a velocidade do registrador;
- 11-inspecionar a operação da tela e do registrador gráfico;

- 12-analisar a corrente de fuga de cada cabo do paciente;
- 13-verificar a corrente de fuga e a integridade do terra da carcaça do equipamento;

Frequência de inspeção: Anual.

Tempo estimado de mão-de-obra: 1,0 hora/homem.

Procedimentos:

- 14-inspecionar o interior da unidade, verificando se há sinais de riscos físicos ou elétricos; limpar o interior com aspirador de pó ou ar comprimido;
- 15-inspecionar as condições físicas da bateria;
- 16-lubrificar o motor do registrador e a engrenagem;
- 17-verificar a fonte regulada de tensão;
- 18-analisar o ganho, a resposta em frequência e a rejeição de modo comum da tela e do registrador gráfico.

4.4.3 MANUTENÇÃO DE ROTINA

A manutenção de rotina realizada pelo operador antes ou após a utilização do equipamento envolve os seguintes aspectos (Domingos, 1997; WHO, 1994):

- limpeza do equipamento e das pás;
- verificação da integridade do cabo de força e do paciente e conectores;

- observação da integridade das pás e desprendimento fácil dessas dos seus suportes;
- observação do suprimento de gel para desfibrilação e eletrodos de ECG;
- ligação do equipamento à rede elétrica e estado da bateria interna.

4.5 BISTURI ELÉTRICO

Esse equipamento, assim como o desfibrilador e o cardioversor, encontra-se no grupo de equipamentos com nível de risco intermediário. Segundo a classificação obtida por Lucatelli (1997), o bisturi elétrico somou 55 pontos.

4.5.1 MATERIAIS NECESSÁRIOS

A realização dos serviços de manutenção preventiva em bisturis elétricos exige a obtenção antecipada de equipamentos, materiais e ferramentas (Simmons & Wear, 1988; Castro, 1997), bem como insumos básicos (Castro, 1997), os quais são apresentados no Anexo C.

4.5.2 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A caracterização dos procedimentos de manutenção preventiva e a frequência das inspeções, bem como o tempo estimado para a realização das mesmas, segundo a bibliografia utilizada (AHA, 1982; Simmons & Wear, 1988; Castro, 1997), sugerem os seguintes procedimentos:

Frequência de inspeção: Trimestral.

Tempo estimado de mão-de-obra: 0,75 a 1 hora/homem

Procedimentos:

1. analisar as condições físicas do cabo de força e do conector;
2. verificar a integridade mecânica do pedal e do cabo;
3. inspecionar a integridade mecânica de chaves, controles, conectores, etc.;
4. inspecionar sinais de deterioração dos acessórios, checar cabos defeituosos;
5. inspecionar defeitos físicos ou elétricos e limpar; usar aspirador de pó ou ar comprimido;
6. checar as condições do gerador de faíscas (centelhador);
7. medir e gravar a saída RF em todos os modos de operação; baseando-se nas especificações do manual de serviço, ajustar a unidade onde necessário;

8. verificar se o aterramento da placa do paciente e do pedal estão intactos, testar o circuito de proteção do terra do paciente;
9. checar a interferência com outros equipamentos de cirurgia;
10. checar a corrente de fuga e a integridade do terra.

Frequência de inspeção: Anual.

Tempo estimado de mão-de-obra: 0,25 hora/homem.

Procedimentos:

11. realizar o teste de condutividade da carcaça se o equipamento é usado na presença de gases anestésicos inflamáveis.

4.5.3 MANUTENÇÃO DE ROTINA

Os cuidados básicos de prevenção de defeitos efetuados pelo operador desse equipamento eletromédico envolvem os aspectos (Castro, 1997):

- utilizar apenas os acessórios compatíveis;
- verificar o funcionamento dos sistemas de alarme;
- analisar o funcionamento geral;
- observar os cabos de força e o conector da UEC, se está quebrado, gasto, descascado ou emendado;
- observar a limpeza dos eletrodos ativos, evitando a formação de crosta tecidual;

- manter o gerador e pedais limpos; usar um pano e detergente, não utilizar solventes.

4.6 ELETROCARDIÓGRAFO

O eletrocardiógrafo é um equipamento considerado de baixo risco de causa de acidentes a pacientes/operadores. Segundo critérios avaliados por Lucatelli (1997) este equipamento alcançou 38 pontos.

4.6.1 MATERIAIS NECESSÁRIOS

A realização dos procedimentos de manutenção preventiva para essa classe de equipamentos envolve o pré-estabelecimento de materiais equipamentos e ferramentas (Simmons & Wear, 1988; WHO, 1994), a disponibilização de materiais de consumo (WHO, 1994) e a aquisição de peças de reposição para a formação de um estoque anual recomendadas pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 1994), como mostrado no Anexo D.

4.6.2 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

São recomendados, de forma genérica, na realização da manutenção preventiva do eletrocardiógrafo (AHA, 1982; Domingos, 1997), os seguintes procedimentos:

Frequência de inspeção: Semestral

Tempo estimado de mão-de-obra: 1,0 a 1,5 hora/homem

Procedimentos:

- 1- verificar as condições físicas do cabo e do conector de força;
- 2- inspecionar a integridade mecânica de todas as chaves, controles, conectores, medidores, etc.;
- 3- inspecionar as condições do cabo e conectores do paciente;
- 4- limpar todos os resíduos do interior da unidade;
- 5- verificar, nos componentes internos, se há riscos físicos ou elétricos;
- 6- observar se a agulha registradora da impressora está aquecendo corretamente e se não está desgastada ou estragada;
- 7- testar o marcador da agulha registradora;
- 8- verificar a velocidade do registrador a todos os ajustes;
- 9- testar e ajustar o ganho de cada amplificador. Testar o amplificador, a resposta em frequência e a razão de rejeição de modo comum para cada canal;
- 10- verificar a operação do equipamento, pôr em funcionamento apenas um trecho de todas as configurações, usando um simulador cardíaco;
- 11- analisar a corrente de fuga para cada cabo do paciente em todos os modos;
- 12- verificar a corrente de fuga e a integridade do terra da carcaça do equipamento.

Frequência de inspeção: Anual.

Tempo estimado de mão-de-obra: 1,0 hora/homem

Procedimentos:

- 14-lubrificar o motor do registrador e a engrenagem;
- 15-verificar a fonte regulada de tensão;
- 16-observar a continuidade do terra, verificando se a resistência entre o pino-terra e o do neutro e a carcaça do equipamento é menor que 0,1 Ω ;
- 17-observar a isolação do circuito do equipamento e verificar se há pelo menos 50M Ω entre o terra e o fase, e entre o terra e o neutro;
- 18-verificar a isolação do circuito do paciente, se há pelo menos 50M Ω entre a conexão do cabo do paciente e o terra, entre ele e o fase e entre ele e o neutro;

4.6.3 MANUTENÇÃO DE ROTINA

Quanto à utilização, além de cuidados relativos ao procedimento clínico, o operador deve manter um nível mínimo de cuidados básicos de prevenção de defeitos (WHO, 1994; Domingos, 1997):

- analisar se a máquina está corretamente conectada ao paciente;
- verificar as condições físicas de chaves e controles;

- verificar se as conexões do cabo do paciente estão limpas e em boas condições;
- observar se os cabos do paciente estão em boas condições, se o condutor não está quebrado e se não está curto-circuitado com a blindagem do cabo;
- checar se a bateria está em boas condições.

5. CONCLUSÃO

Este estudo caracterizou os diversos aspectos que envolvem a implementação de um programa de manutenção preventiva, bem como apresentou as diferenças existentes entre os tipos de manutenção, a forma de organização do setor de manutenção, além de conceitos básicos que necessitam ser conhecidos por facilitarem a compreensão das funções e dos modelos utilizados pela manutenção.

Um dos aspectos de fundamental importância apresentado neste trabalho constitui a priorização de EEM para a MP. Os diversos métodos estudados e as características do hospital constituem pontos-chave na implementação da MP, pois representam a otimização dos recursos disponibilizados pela instituição. Tais métodos apresentam variações quanto aos critérios adotados para a priorização e a seleção dos equipamentos, critérios esses que devem ser compreendidos e adaptados à realidade da instituição, devido a suas diferenças, tais como tamanho, área de concentração e disponibilidade de recursos.

Dentre os métodos estudados, pode-se dividir a ênfase dos critérios, basicamente, em duas classes: sistemas baseados no risco e sistemas baseados nos custos de operação. O sistema baseado no nível de risco que os EEM oferecem a operadores/pacientes foi escolhido como critério de priorização dos EEM do Hospital Universitário (Lucatelli, 1997), por refletir o objetivo máximo de uma instituição de saúde, que é prestar o atendimento à comunidade da maneira mais segura e confiável possível.

A implementação de procedimentos de manutenção preventiva exige, ainda, outros aspectos não menos importantes. A estrutura de engenharia clínica - EEC - é a responsável pela otimização do estoque anual de peças de reposição, ou seja, ela deve manter equilibradas as necessidades apontadas através de inspeções preventivas, com o estabelecimento de um estoque de peças sobressalentes que não seja superestimado, provocando o desperdício de recursos financeiros, como também subestimado, sob pena de incrementar significativamente o tempo que o equipamento permanece indisponível em virtude da falta de suprimentos ou peças de reposição. Qualquer das duas situações é determinante no descumprimento de alguns dos principais argumentos da manutenção preventiva, tais como redução dos custos da manutenção, diminuição do tempo de paralisação do equipamento, assim como redução da eficiência dos serviços.

É indispensável salientar que um programa de manutenção preventiva eficiente só pode ser alcançado se a EEC mantiver um perfeito entrosamento e envolvimento de todos os setores do hospital, ou seja, enfermagem, clínica médica, administração, etc. Ao longo deste trabalho, apresentaram-se estatísticas que apontam que a grande maioria dos defeitos reclamados, 70% (Veneziano, 1996), originam-se da má operação dos equipamentos. A integração entre os setores é importante, então, para que a correta realização dos procedimentos de operação seja garantida sem interferir significativamente na rotina interna do hospital. Além disso, os operadores dos equipamentos devem estar cientes da sua responsabilidade perante a conservação desses EEM. Nesse sentido, salienta-se a importância da manutenção de rotina, que consiste em pequenos cuidados,

fundamentalmente inspeção visual e limpeza, realizados antes e/ou após a utilização dos equipamentos, o que reduz em muito a manutenção corretiva, promove o aumento da vida útil do equipamento, sem alterar decisivamente a rotina clínica da instituição. Essas orientações e cuidados mínimos indispensáveis devem ser passados através de treinamentos direcionados aos usuários dos equipamentos, realizados por pessoal qualificado.

Garantindo-se o comprometimento das partes - enfermagem, manutenção e clínica médica -, no sentido de se estabelecer o entrosamento por meio de ampla comunicação, assegura-se, através da manutenção feita pelo operador, parte dos cuidados necessários ao estabelecimento de uma rotina de prevenção de falhas. Além disso, o acesso ao equipamento para inspeções preventivas pela EEC fica facilitado. Tais inspeções, constituem um nível mais aprofundado de procedimentos, que variam conforme o nível de funcionalidade e segurança exigidos pelo equipamento, realizados por pessoal especializado e habilitado, utilizando ferramentas e equipamentos adequados. A realização dos procedimentos está diretamente condicionada à experiência e qualificação do executor, pois técnicos mal-treinados ou de capacidade duvidosa comprometerão a obtenção dos objetivos almejados. A partir disso, e em razão dos constantes avanços da tecnologia médica, a EEC deve, permanentemente, investir em treinamento e qualificação da equipe.

A experiência técnica, essencial na realização de inspeções preventivas, constitui o único aspecto considerado na realização da manutenção preventiva em EEM utilizados pelo HU, conforme mostrado através de um levantamento da situação da MP nesse hospital (Lucatelli, 1997). Os resultados apresentados apontaram que, além de apenas 10% dos

equipamentos sofrerem algum tipo de cuidado preventivo, sendo que esses procedimentos não atendiam a qualquer critério de seleção ou metodologia. O HU, na condição de hospital público, possui boa parte dos seus equipamentos resguardados por contratos externos de manutenção, os quais prevêem a realização tanto de manutenção corretiva como da preventiva. De modo geral, entretanto, não fazem qualquer menção a procedimentos detalhados de MP, ficando a instituição à mercê da boa vontade dos executores dos serviços. Essa situação deveria ser evitada, conforme mostrado no item 2.2.4 deste trabalho.

Nesse sentido, e atendendo a um dos principais objetivos deste estudo, fez-se a demonstração da aplicação dos procedimentos de manutenção preventiva a alguns EEM selecionados, conforme os critérios propostos por Sánchez (Barrios, 1997), disponibilizando-se as informações necessárias. Tais informações são fontes de grande preocupação devido à dificuldade de obtenção de manuais de operação e do usuário, à falta de dados mais específicos nos manuais, bem como à dificuldade de entendimento em virtude da diferenciação dos idiomas empregados na elaboração desses materiais.

As fontes a que se recorreu para a elaboração deste trabalho foram bastante variadas, constituídas de livros-textos básicos de manutenção, manuais de manutenção, literatura técnica, artigos técnicos, manuais de procedimentos de manutenção, além da participação no XII Congresso Brasileiro de Manutenção, promovido pela Abraman em São Paulo. Essa grande variedade de informações deu condições para se traçar um paralelo entre as diferenças encontradas na indústria e na área hospitalar. Na indústria,

a manutenção não é tida atualmente como uma fonte inesgotável de gastos, mas, sim, como uma forma de gerar lucro através da otimização de recursos, aperfeiçoamento contínuo da equipe técnica e ferramental. Em contrapartida, o setor hospitalar, pela sua falta de organização e gerenciamento adequados, trata a manutenção como um “mal necessário”, concebendo-a como fator de morosidade, altos custos e ineficiência dos serviços. Essa situação é identificada principalmente no setor público, onde não há investimentos e concorrências de mercado, principal fonte impulsionadora da indústria. Porém, além da redução dos gastos na área hospitalar, pode-se citar, ainda, como vantagens da manutenção a segurança e funcionalidade envolvidas no emprego de EEM, pela menor exposição de pacientes e operadores ao risco de acidentes. Esse fator adicional deveria aumentar ainda mais o comprometimento dos responsáveis pelo investimento no setor da manutenção de EEM de instituições de saúde.

As informações obtidas através deste trabalho, assim como o convívio diário com a realidade de uma instituição de saúde pública mostraram que a manutenção preventiva, vital para o estabelecimento de uma manutenção segura e eficaz de EEM, está relegada a segundo plano por motivos, tais como desconhecimento dos seus benefícios, falta de investimentos no setor, falta de gerenciamento especializado e dirigido. Resumidamente, isso poderia ser resolvido, em grande parte, pela aplicação de medidas adotadas em países do Primeiro Mundo, ou seja, a implantação de EEC em todas as instituições de saúde compatíveis.

5.1 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Ainda dentro do assunto de manutenção de equipamentos eletromédicos, pode-se sugerir a realização de estudos complementares, visando ao aprimoramento dos resultados obtidos por este. Nesse sentido, sugerem-se os seguintes assuntos:

- estudo da viabilidade da aplicação de técnicas de manutenção preditiva a equipamentos eletromédicos;
- estudo e aplicação da manutenção de rotina por operadores de equipamentos eletromédicos do Hospital Universitário;
- implantação de um software de gerenciamento da tecnologia médica do Hospital Universitário;
- aplicação e avaliação dos métodos existentes de priorização de equipamentos eletromédicos para manutenção preventiva;
- estudo da situação real da manutenção na área hospitalar de Florianópolis/SC/Brasil, segundo os moldes utilizados pela Abraman;
- avaliação do programa de manutenção preventiva implantado.

ANEXOS

ANEXO A

MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A MP DO VENTILADOR PULMONAR

EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS

- manual de serviço
- manual de operação
- multímetro digital
 - 0,1 - 1.000V DC;
 - 0,1 - 500V AC;
 - 200 - 20M Ω ;
 - 2,0 - 200A DC;
 - 2,0 - 200A AC.
- megômetro:
 - 0 - 100M Ω
- osciloscópio traço duplo
- fluxômetro de oxigênio:
 - 0 - 5 litros/min;
 - 9 - 120 litros/min.
- manômetro:
 - 0 - 2300 lbs/in².
- analisador de gases
- analisador de segurança
- detector de vazamentos
- aspirador de pó.

Ferramentas de mão:

- alicates
- chaves de fenda
- chaves tipo philips
- chave inglesa
- navalha
- martelo
- chaves de boca
- cronômetro
- soldador.

INSUMOS BÁSICOS

- lubrificante de silicone
- óleo fino
- rolha #2, #3
- álcool isopropílico
- esfregão
- detergente
- breu
- fita flexível
- cola.

ESTOQUE DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO ANUAL

- chave de força
- chave do nebulizador
- válvula do solenóide principal
- válvula do solenóide do nebulizador
- filtro
- compressor principal
- ventoinha de refrigeração
- compressor do nebulizador
- chave limitadora de pressão
- suporte do compressor principal
- chave manual
- fole
- controlador de volume;
- fiação do controlador de volume
- sensor do controle de sensibilidade.

ANEXO B

MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A MP DO DESFIBRILADOR/CARDIOVERSOR

EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS

- manual de serviço
- manual de operação
- multímetro digital:
 - 0,1 - 1.000V DC;
 - 0,1 - 500V AC;
 - 200 - 20M Ω ;
 - 2,0 - 200A DC;
 - 2,0 - 200A AC.
- megômetro:
 - 0 - 100M Ω .
- analisador de desfibrilador:
 - 0 - 499 w/seg.
- analisador de segurança
- aspirador de pó.

Ferramentas de mão:

- alicates
- chaves de fenda
- chaves tipo philips
- chave inglesa
- navalha
- martelo

- chaves de boca
- cronômetro
- soldador.

INSUMOS BÁSICOS

- gel condutor
- álcool isopropílico
- breu
- fita flexível
- cola.

ANEXO C

MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A MP EM BISTURI ELÉTRICO

EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS

- manual de serviço
- manual de operação;
- multímetro digital:
 - 0,1 - 1.000V DC;
 - 0,1 - 500V AC;
 - 200 - 20M Ω ;
 - 2,0 - 200A DC;
 - 2,0 - 200A AC.
- megômetro:
 - 0 - 100M Ω .
- analisador de segurança
- analisador de bisturi
- aspirador de pó.

Ferramentas de mão:

- alicates
- chaves de fenda
- chaves tipo philips
- chave inglesa
- navalha
- martelo
- chaves de boca

- cronômetro
- soldador.

INSUMOS BÁSICOS

- álcool isopropílico
- óleo lubrificante
- breu
- fita flexível
- cola.

ANEXO D

MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A MP EM ELETROCARDIÓGRAFO

EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS

- manual de serviço
- manual de operação
- multímetro digital:
 - 0,1 - 1.000V DC;
 - 0,1 - 500V AC;
 - 200 - 20M Ω ;
 - 2,0 - 200A DC;
 - 2,0 - 200A AC.
- megômetro:
 - 0 - 100M Ω
- analisador de segurança
- simulador de ECG
- aspirador de pó.

Ferramentas de mão:

- alicates
- chaves de fenda
- chaves tipo philips
- chave inglesa
- navalha
- martelo
- chaves de boca

- cronômetro
- soldador.

INSUMOS BÁSICOS

- gel condutor
- álcool isopropílico
- breu
- óleo lubrificante
- fita flexível
- cola.

ESTOQUE DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO ANUAL

- eletrodos do paciente
- cabos do paciente
- agulha, estilete
- bobina de papel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J. T. A risk-related preventive maintenance system. **Journal of Clinical Engineering**, v. 17, jan/fev., 1992. p. 65-68.
- ANTAS, L. M. **Dicionário de Termos Técnicos: Inglês - Português**. 6. ed. São Paulo: Traço Editora, 1980.
- AMERICAN HOSPITAL ASSOCIATION - AHA Medical Equipment Management in Hospital. 1982. p. 1-19.
- ARCURI FILHO, R. O futuro conceito de manutenção. In: **XXIV Convención Panamericana de Ingenieros**. San José, Costa Rica, 1996.
- ARIZA, C. F. Manutenção preventiva - objetivos, desenvolvimento e aplicação. **Manutenção & Serviços**, Ano 1, n.5, jun/jul. 1988. p. 4-15.
- ARIZA, C. F. Manutenção - uma estrutura secular. **Manutenção & Serviços**, Ano 2, n.8, dez/jan. 1989. p. 20-29.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO - ABRAMAN. **Situação da manutenção no Brasil**. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Confiabilidade e manutenibilidade - terminologia**, NBR 5462, Rio de Janeiro, 1994. p. 37.
- ASTON, R. Hospital Equipment Safety and Organization. In _____. **Principles of biomedical instrumentation and measurement**. New York, 1990. p. 82-86.

- BARRIOS, V., MONTILA, G. & CERROLAZA, M. Avances recientes en bioingiería: investigación aplicada. In: SÁNCHEZ, M. C., MIGUEL, A. & RODRIGUEZ, E. **Mantenimiento orientado a riesgo, en un sistema de gestión tecnológica hospitalaria**. Caracas: Gráficas León SRL, 1997. p. IC41-IC47.
- BENNETT - MA-1. Unit respiration: service and repair instructions. Los Angeles, CL, 1974.
- BEM-ZVI, S. An urgent plea for realistic preventive maintenance guidelines. **Medical Instrumentation**, n.2, mar/abr. 1982. p. 115-116.
- BESKOW, W. B. **Estudo preliminar do processo de qualificação de equipamentos eletromédicos: uma abordagem em engenharia clínica**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BLANCO, S. S. Mantenimiento classe mundial. In: **XXIV Convención Panamericana de Ingenieros**. San José, Costa Rica, 1996.
- BRONZINO, J. D. Technology management. In: _____. **Management of medical technology**. Stoheman, MA: Butterworth-Heinemann, 1992. p. 67-110.
- CAPUANO, M. & KORITKO, S. Risk-oriented maintenance - increase the effectiveness of your pm program. **Biomedical Instrumentation & Technology**, jan/fev. 1996. p. 25-37.
- CASTRO, A. C. R. **Estudo de funcionalidade e segurança em unidades eletro-cirúrgicas de alta frequência**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Manual de manutenção elétrica na indústria.** Rio de Janeiro, 1987.
- DOMINGOS, J. C. S. **Eletrocardiógrafos, desfibriladores e cardioversores.** Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ESPERANÇA, C. G. **Estudo de metodologias para gerenciamento de ventiladores pulmonares.** Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- HAWKINS, F. G. Review of issues in hospital technology acquisition. **Journal of Clinical Engineering**, USA, v. 17, n. 1, 1992. p. 35-40.
- HELLIGE GMBH. **Cardioserv - Service Manual.** Alemanha, Friburgo, 1995.
- HERTZ, E. Establishing the priority of equipment inspections. **Biomedical Instrumentation & Technology**, v. 24, nov/dez. 1990. p. 410-16.
- INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia.** Duque de Caxias, RJ, 1995. p. 52.
- KENDALL, E. B.; CRONK, J. W. & WHITE, R. N. Real-time flexible preventive maintenance scheduling. **Biomedical Instrumentation & Technology**, v. 27, nov/dez. 1993. p. 16-20.
- LAMBERTI, C. & URSINO, M. Information system for biomedical equipment management in a wide-area environment. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 28, 1990. p. 350-54.

- LAMBERTI, et al. A new model to estimate the appropriate staff for a clinical engineering department. **Journal of Clinical Engineering**, v. 22, set/out. 1997. p. 335-41.
- LEWIS, B. T. & PEARSON, W. W. **Manual de manutenção preventiva.**, Rio de Janeiro: Denisa, 1965.
- LIMA, N. M. **Núcleo de Engenharia Clínica/HU/UFSC: apropriação e análise dos custos.** Florianópolis, 1997. Monografia (Bacharel em Economia) - Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- LUCATELLI, M. V. & GARCIA, R. Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos - EEM. In: **Anales do XII Congresso Chileno de Ingeniería Eléctrica.** V. II. Temuco, Chile, 1997. p.708-711.
- MARTINS, M. C., et al. Uma proposta de priorização de equipamentos médico-hospitalares para manutenção preventiva. **Revista Brasileira de Engenharia**, 7:2:561-71, 1990.
- MARTINS, E. **Contabilidade de Custos.** 4. ed. rev. - São Paulo: Atlas, 1990.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Segurança no ambiente hospitalar: saúde e tecnologia**, Brasília, p. 60, 1995.
- MIRSHAWKA, V. Qualidade, confiabilidade e manutenabilidade. **Electron**, jun. 1989. p. 36-48.
- MIRSHAWKA, V. **Manutenção Preditiva - caminho para zero defeitos.** São Paulo: Makron Books Mc Graw-hill, 1991.
- MORROW, L. C. **Manual de mantenimiento industrial.** México: Cia. Editorial Continental, Tomo 1, 1982.

- MOUSSAVI, S. & WHITMORE, K. Review of scheduled performed assurance inspections. **Journal of Clinical Engineering**, v. 18, mar/abr. 1993. p. 159-64.
- NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., v.1, 1989.
- QUEIROZ, H. L. **Manutenção em sistemas de distribuição de energia elétrica**. Florianópolis, 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- RAMÍREZ, F. F. E. & CALIL, S.J. Classificação de Critérios de Equipamentos Médico-Hospitalares em Manutenções Preventivas. In: **Anais do III Fórum de Ciência e Tecnologia em Saúde**. v.1. São Carlos, 1996. p. 167-168.
- RUSSEL, D. Preventive maintenance quality assurance. **Journal of Clinical Engineering**, v. 17, jul/ago. 1992 p. 321-23.
- SCHOEPS, W. Manutenção. In: _____. **Manual de administração da produção**, Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, v.2, 1975. p. 327-358.
- SIMMONS, D. A. & WEAR, J. O. **Clinical Engineering Manual**. North Little Rock: Scientific Enterprises, 3. ed., 1988.
- TACHIBANA, M., Naniwada, M. & Salvendy, G. Operational model for increasing quality, productivity, and profitability in maintenance. In: SALVENDY, G. & KARWOWSKI, W. **Design of work and development of personnel in advanced manufacturing**. New York: Wiley, 1994. p. 535-51.

TAVARES, L. A. **Excelência na MANUTENÇÃO**. 2. ed. Salvador: Casa da Qualidade, 1996.

VENEZIANO, W. H. **Estudo para dimensionamento de centros regionais de engenharia clínica em Santa Catarina**. Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

WEBSTER, J. G.; COOK, A. M. Clinical engineering: principles and practices. In: TOPHAM, W. S. **Preventive maintenance and repair**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice - Hall, Inc. 1979. p. 279-307.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO "Maintenance and Repair of Laboratory, Diagnostic Imaging, and Hospital Equipment". Switzerland, 1994.

GLOSSÁRIO

confiabilidade - capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.

disponibilidade - capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

equipamento eletromédico - é o equipamento elétrico dotado de não mais que um recurso de conexão a uma determinada rede de alimentação elétrica e destinado a diagnóstico, tratamento ou monitoração do paciente, sob supervisão médica, que estabelece contato físico ou elétrico com o paciente, ou recebe a que dele provém, e/ou detecta esta transferência de energia.

estado de incapacidade - quando o item está caracterizado por sua incapacidade de desempenhar a função requerida, por qualquer razão.

estado de incapacidade por razões externas - estado de um item disponível que se acha em estado de incapacidade por falta de recursos externos ou por estarem sendo executadas ações planejadas que não as de manutenção.

estado de indisponibilidade - estado de um item caracterizado por uma pane ou por uma eventual incapacidade de desempenhar uma função requerida durante a manutenção preventiva.

estado livre - quando o item está disponível, mas não em operação, durante o tempo não requerido.

estado de operação - quando está desempenhando uma função requerida.

estado de prontidão - quando o item está disponível, mas não em operação, durante o tempo requerido.

manutenabilidade - capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos

manutenção - combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

manutenção corretiva - manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

manutenção preditiva - a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

manutenção preventiva - manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

operador - pessoa que trabalha com o equipamento.

reparo - parte da manutenção corretiva na qual são efetuadas as ações de manutenção efetiva sobre um item, excluindo-se os atrasos técnicos.

usuário - responsável pela utilização do equipamento.